



ZJIŠŤOVÁNÍ VLIVU PROCESNÍCH KAPALIN Z FIRMY PARAMO, A.S. NA TECHNOLOGII FRÉZOVÁNÍ SLITINY HLINÍKU A NA JAKOST OBROBENÉHO POVRCHU

Bakalářská práce

Studijní program: B2341 – Strojírenství
Studijní obor: 3911R018 – Materiály a technologie
Autor práce: **Karel Šimek**
Vedoucí práce: prof. Ing. Alexey Popov, DrSc.





DETERMINING THE INFLUENCE OF PROCESS FLUIDS FROM PARAMO, A.S. ON MILLING TECHNOLOGY AND THE QUALITY OF SURFACE FINISH WHEN MACHINING ALUMINUM ALLOYS

Bachelor thesis

Study programme: B2341 – Engineering
Study branch: 3911R018 – Material and Technology
Author: **Karel Šimek**
Supervisor: prof. Ing. Alexey Popov, DrSc.



Tento list nahradte
originálem zadání.

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum:

Podpis:

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Prof. Ing. Alexeyi Popovovi, DrSc. za pomoc, důležité rady a konzultace při tvorbě práce.

Dále děkuji konzultantovi bakalářské práce panu Ing. Andreji Duginovi za připomínky a cenné rady. Též děkuji panu Ing. Jiřímu Karáskovi za pomoc v laboratoři metrologie a dalším pracovníkům katedry obrábění a montáže za pomoc při řešení vyskytlých problémů.

Také bych rád poděkoval svým rodičům za velkou trpělivost a podporu při mém studiu na vysoké škole.

**Zjišťování vlivu procesních kapalin z firmy PARAMO, a.s.
na technologii frézování a jakost obrobeného povrchu
při obrábění slitiny hliníku**

ANOTACE:

Bakalářská práce obsahuje informace o frézování, slitinách hliníku, tvorbě třísky, procesních kapalinách a drsnosti povrchu. Tato práce se zabývá vlivem procesních kapalin při čelním frézování slitiny hliníku. Výsledky vlivu procesních kapalin jsou hodnoceny z hlediska drsnosti povrchu a tvorby třísky.

Klíčová slova: FRÉZOVÁNÍ, PROCESNÍ KAPALINY, DRSNOST POVRCHU, TŘÍSKA, SLITINA HLINÍKU,

**Analysis of the influence of process fluids from the company PARAMO, a.s.
on the tool life and surface quality during milling of structural steel.**

ANNOTATION:

The work contains information on durability and cutting tool wear, surface roughness, and process liquids. This work deals with the influence of process fluids in conventional milling structural steel. The results of the influence of process fluids are evaluated in terms of tool life and surface roughness.

Keywords: MILLING, PROCESS FLUIDS, SURFACE ROUGHNESS, TOOL
LIFE, STRUCTURAL STEEL

Zpracovatel: TU v Liberci, KOM

Dokončeno: 2014

Archivní označ. zprávy:

Počet stran: 66

Počet příloh: 5

Počet obrázků: 43

Počet tabulek: 7

Počet grafů: 3

Obsah

ÚVOD.....	12
1 SHRUTÍ POZNATKŮ O PROCESU FRÉZOVÁNÍ SLITIN HLINÍKU.....	13
1.1 Frézování.....	13
1.1.1 Čelní frézování.....	13
1.2 Hliník a jeho slitiny	14
1.2.1 Hliník a jeho slitiny z hlediska obrábění	15
1.2.1.1 Tvorba nárůstu při obrábění slitin hliníku.....	16
1.2.1.2 Obrábění slitin hliníku z pohledu volby řezného nástroje a jeho geometrie.....	16
1.2.1.3 Obrábění slitin hliníku z pohledu tvaru třísky.....	17
2 REŠERŠE LITERÁRNÍCH POZNATKŮ O VLIVU PROCESNÍCH KAPALIN NA FRÉZOVÁNÍ SLITIN HLINÍKU	18
2.1 Mechanismus tvorby třísky a její klasifikace.....	18
2.1.1 Mechanismus tvorby třísky	18
2.1.2 Druhy třísek.....	19
2.2 Procesní kapaliny	21
2.2.1 Řezné prostředí	21
2.2.2 Význam a funkce procesních kapalin	22
2.2.3 Popis jednotlivých účinků procesních kapalin	22
2.2.3.1 Chladicí účinek.....	22
2.2.3.2 Mazací účinek.....	22
2.2.3.3 Čistící účinek.....	24
2.2.3.4 Provozní stálost	24
2.2.3.5 Ochranný účinek.....	25
2.2.3.6 Zdravotní nezávadnost	25
2.2.3.7 Přiměřené náklady.....	26
2.2.4 Druhy procesních kapalin.....	26
2.2.4.1 Vodné roztoky	27
2.2.4.2 Emulzní kapaliny.....	27
2.2.4.3 Řezné oleje	28
2.2.4.3.1 Mastné látky.....	29

2.2.4.3.2	Organické sloučeniny	29
2.2.4.3.3	Pevná maziva.....	29
2.2.4.4	Syntetické a polosyntetické kapaliny.....	29
2.2.5	Přívod procesní kapaliny do místa řezu.....	30
2.3	Integrita povrchu.....	31
2.3.1	Integrita povrchu a její význam z hlediska obrábění	32
2.3.2	Jednotlivé složky integrity	32
2.3.2.1	Mikrotvrdost.....	32
2.3.2.2	Zbytková napětí	33
2.3.2.3	Fázové změny mikrostruktury	34
2.4	Drsnost povrchu	34
2.4.1	Základní parametry drsnosti povrchu	35
2.4.1.1	Střední aritmetická odchylka profilu Ra	36
2.4.1.2	Největší výška nerovností profilu Rz.....	37
2.4.1.3	Největší výška výstupku profilu Rp.....	37
2.4.1.4	Největší výška prohlubně profilu Rv	37
2.4.1.5	Nosný podíl C_{TP} (R_{MR})	38
2.4.2	Metody měření drsnosti povrchu.....	39
2.4.2.1	Vizuální zkouška	39
2.4.2.2	Porovnávací metoda.....	39
2.4.2.3	Metoda světelného řezu	40
2.4.2.4	Interferenční metoda	40
2.4.2.5	Dotyková metoda	40
3	N ÁVRH METODIKY EXPERIMENTŮ PRO ZKOUMÁNÍ VLIVU PROCENÍCH KAPALIN NA PROCES FRÉZOVÁNÍ SLITIN HLINÍKU	42
3.1	Obráběný materiál	42
3.2	Stanovení řezných podmínek	42
3.3	Metoda hodnocení kvality obrobeného povrchu.....	43
3.4	Metoda hodnocení druhu třísek.....	43
3.5	Popis použitých strojů, přístrojů a nástrojů	44
3.5.1	Nástrojařská frézka FNG 32	44
3.5.2	Frézovací hlava NAREX	45

3.5.3	Vyměnitelná břitová destička (VBD).....	45
3.5.4	Chladicí nádoba	46
3.5.5	Profilometr Mitutoyo surftest SV– 2000 N2	47
3.5.6	Ruční refraktometr	47
4	REALIZACE EXPERIMENTU.....	48
4.1	Příprava zkušebních vzorků	48
4.2	Příprava procesní kapaliny	48
4.3	Příprava nástrojařské frézky FNG 32.....	49
4.4	Postup samotného obráběcího procesu a následného měření	50
5	HODNOCENÍ Vlivu Různých druhů procesních kapalin	53
5.1	Hodnocení vlivu všech procesních médií na parametry drsnosti povrchu.....	53
5.1.1	Porovnání vlivu procesních médií oproti frézování na sucho.....	54
5.1.2	Porovnání vlivu procesních kapalin od firmy PARAMO a.s.	55
5.1.3	Detailní fotografie odebraných vzorků třísek.....	56
6	SHRNUTÍ A ZHODNOCENÍ DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ A VYVOZENÍ	
	ZÁVĚRŮ	57
	Seznam použité literatury	59
	Seznam obrázků.....	62
	Seznam tabulek.....	64
	Seznam grafů	65
	Seznam příloh	66

Seznam použitých značek a symbolů

Al	[-]	hliník
a_p	[mm]	hloubka řezu
b	[mm]	šířka záběru
c	[%]	koncentrace
C	[-]	uhlík
Cu	[-]	měď
f	[mm/min]	posuv stolu
F_c	[N]	řezná síla
f_z	[mm]	posuv na zub
HV	[-]	tvrdost podle Vickerse
Hz	[-]	Herz
l	[mm]	základní délka
Li	[-]	lithium
K	[%]	koncentrace PK
Mg	[-]	hořčík
Mn	[-]	mangan
n	[min ⁻¹]	otáčky nástroje
O	[-]	kyslík
ρ	[kg.m ⁻³]	hustota
r	[-]	refrakční index
Ra	[μ m]	střední aritmetická úchylka profilu
Rm	[MPa]	mez pevnosti
Rp	[μ m]	největší výška výstupku
Rv	[μ m]	největší hloubka prohlubně profilu
Rz	[μ m]	největší výška profilu
Si	[μ m]	největší výška profilu
v_c	[m/min]	řezná rychlost

Zn	[-]	zinek
C _{tp50}	[μm]	hloubka, ve které je podíl materiálu a vzduchu 1:1
α	[°]	úhel hřbetu
γ	[°]	úhel čela
KOM	[-]	katedra obrábění a montáže
TUL	[-]	Technická univerzita v Liberci
atd.	[-]	a tak dále
např.	[-]	například
tzv.	[-]	takzvaná
apod.	[-]	a podobně
mm	[-]	milimetr
∅	[-]	průměr
kg	[-]	kilogram
%	[-]	procento
μm	[-]	mikrometr
°C	[-]	stupeň Celsia
min	[-]	minuta
MPa	[-]	megapascal
PVD	[-]	physical vapour deposition
PD _I	[-]	oblast primárních plastických deformací
PD _{II}	[-]	oblast sekundárních plastických deformací
PD _{III}	[-]	oblast terciálních plastických deformací
ED	[-]	oblast elastických deformací

ÚVOD

Obrábění je velice rozmanitý proces a zahrnuje velké množství technologií. Nejrozšířenější technologií obrábění rovinných ploch kovových strojních součástí je frézování. Tato metoda se používá téměř v každém strojírenském závodu. Hlavním úsilím všech metod obrábění je dosažení co nejlepší rozměrové přesnosti a jakosti obrobeného povrchu při co největší hospodárnosti. Výsledek obrábění však závisí na vlastnostech obráběného materiálu a volbě optimálních řezných podmínek. Výslednou jakost obrobeného povrchu ovlivňuje především tření stykových ploch, vznikající teplo při obrábění a tvorba nárůstku. Tyto doprovodné nežádoucí jevy se dají výhodně ovlivnit změnou řezných podmínek a aplikací procesního média. Použití procesního média snižuje řezné síly, tření, napomáhá odplavování třísky, chladí soustavu stroj – nástroj – obrobek atd., ale jen v případě, pokud jsou zvoleny přiměřené podmínky i vhodný obráběný materiál.

Bakalářská práce je zaměřená na vliv procesních kapalin od firmy PARAMO a.s., při frézování slitiny hliníku na jakost obrobeného povrchu z pohledu parametrů drsnosti povrchu a tvorby třísky. V první části práce jsou shrnuty teoretické informace o frézování, slitinách hliníku a jeho vlastnostech z hlediska obrábění, o problematice mechanismu tvorby třísky a její klasifikaci. Dále se velká část věnuje problematice výše zmíněných procesních kapalin, jejich účinkům a rozdělení. Závěrem teoretická část pojednává o hodnocení jakosti obrobeného povrchu z pohledu jednotlivých složek integrity povrchu. Ze složek integrity jsou zde popisovány především parametry drsnosti.

V praktické části bylo nejdůležitější navrhnout metodiku experimentu. Zvolit vhodný stroj, řezné podmínky, způsob měření a zhodnocení jakosti povrchu a tvorby třísky. Také obsahuje informace a technické údaje o použitých strojích, přístrojích a měřidlech. Následně je popisována příprava procesních kapalin, příprava vzorků, samotný proces frézování, postupy měření parametrů drsnosti, následné srovnání výsledků, vyhodnocení a doporučení do praxe.

Celý experiment se uskutečnil v laboratořích KOM FS TUL.

1 SHRNUTÍ POZNATKŮ O PROCESU FRÉZOVÁNÍ SLITIN HLINÍKU

V této kapitole jsou shrnuty základní poznatky o procesu frézování. Obsahuje informace o hliníku a jeho slitinách a jeho vlastnostmi vzhledem k obrábění.

1.1 Frézování

Frézování je velice rozšířenou metodou obrábění, při které je materiál obrobku odebírán ve formě třísky břity nástroje, který rotuje kolem své vlastní pevné osy. Hlavní pohyb je rotační a vykonává ho nástroj. Posuv a přísmv vykonává obrobek a je většinou přímočarý. Řezný pohyb je přerušovaný, protože každý zub nástroje odřezává krátkou třísku obvykle proměnlivé tloušťky. [1]

Využívá se především pro obrábění rovinných ploch, prizmatických ploch, tvarových ploch, drážek různých průřezů, dále i rotačních ploch, závitů a ozubení. Vykazuje se poměrně velkou výkonností při velmi dobré jakosti obrábění.

Stroj, který se používá na technologický proces frézování, se nazývá frézka. Frézky jsou vyráběny ve velkém množství modelů a variací.

Z technologického hlediska se podle způsobu polohy osy nástroje vůči obráběné ploše frézování rozlišuje na: frézování čelní a frézování válcové. V bakalářské práci se budu zabývat frézováním čelním. [1], [2]

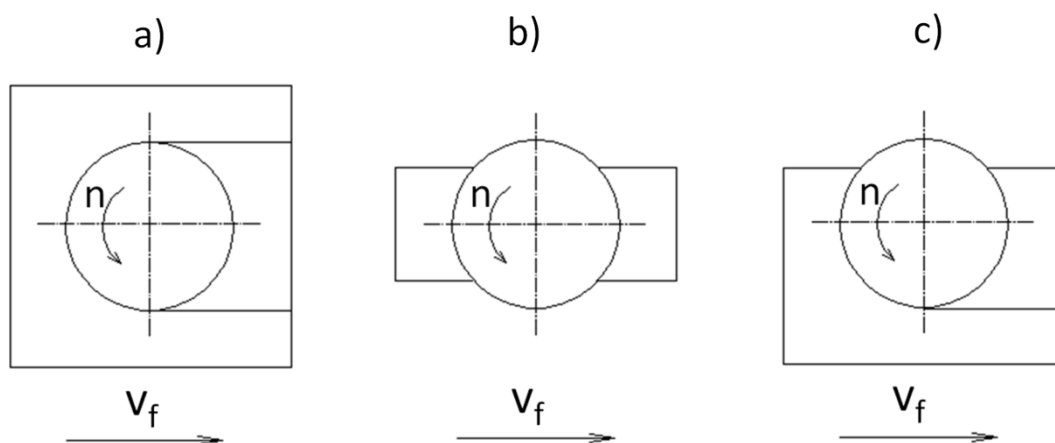
1.1.1 Čelní frézování

Při čelním frézování je osa nástroje kolmá na obráběnou plochu a hloubka záběru třísky se nastavuje ve směru osy frézy. Zuby na obvodě frézy materiál odřezávají a zuby čelní obrobenou plochu vyhlazují. Čelní frézování se provádí většinou na frézkách vertikálních.

Oproti frézování rovinných ploch metodou válcového frézování má čelní frézování vyšší tuhost upnutí frézy. Řezný proces je klidnější a stabilnější, protože je v záběru vždy několik zubů současně. Z těchto důvodů je jakost obrobené plochy celkově vyšší než při frézování válcovém.

Čelní frézování se rozděluje dle symetričnosti:

- a) Úplné symetrické (obr. 1a)
- b) Neúplné symetrické (obr.1b)
- c) Neúplné nesymetrické (obr.1c) [1], [2]



Obr. 1 Druhy čelního frézování dle symetričnosti

1.2 Hliník a jeho slitiny

Hliník je stříbrolý, lesklý, lehký, tvárný kov. Je to velice dobrý vodič tepla a elektrického proudu (přibližně 60% vodivosti Cu) s poměrně vysokou teplotou tání (kolem 660°C). Jeho chemická značka je Al (z latiny Aluminium). Al je v přírodě nejrozšířenějším kovem (asi 7,5% zemské kůry), svou spotřebou po železe druhým nevýznamnějším na světě a vyskytuje se zejména ve formě sloučenin, nejznámější rudou je bauxit. Mechanické vlastnosti hliníku jsou oproti ostatním kovům poměrně nízké (R_m je kolem 60MPa), ale vyznačuje se vysokým poměrem meze pevnosti v tahu a hustoty ($\rho=2700 \text{ kg.m}^{-3}$). Dále se projevuje vysokou korozní odolností. Odolává mořské vodě, neutrálním či oxidačním roztokům solí a koncentrované kyselině dusičné. Neodolává silnějším zásadám a částečně se rozpouští v kyselině sírové. Velký význam má také jeho poměrná stálost na vzduchu, za vzniku tenké pasivační ochranné vrstvičky Al_2O_3 na povrchu.

Použití hliníku a jeho slitin je velice rozšířené. Slitiny hliníku se obecně dělí na slévárenské slitiny a slitiny určené k tváření. Největší význam mají mezi slévárenskými slitinami siluminy (slitiny Al-Si). Ty se dělí podle procenta Si v nich obsažených na

podeutektické (4,5-10% Si), eutektické (10-13% Si), nadeutektické (nad 13% Si). Dále se jedná o slitiny typu Al-Mg, Al-Cu, Al-Si-Cu, Al-Si-Mg, Al-Si-Cu-Ni. Slitiny určené k tváření se rozdělují podle toho, zda je možné dále zvyšovat jejich mechanické vlastnosti precipitačním vytvrzováním. Mezi vytvrditelné patří slitiny typu Al-Mg-Si, Al-Cu-Mg neboli duraly, Al-Zn-Mg, Al-Zn-Mg-Cu. Hořčík a měď jsou modifikátory, které mají největší vliv na zvýšení pevnosti. Nevytvrditelné jsou zejména slitiny typu Al-Mg, Al-Mn.

V praxi se slitiny hliníku využívají ve strojírenství na různé odlitky, profily a jiné konstrukční součástky. Ve stavebnictví jsou to fasádní profily, profily pro výrobu oken a dveří. V elektronice se z hliníku vyrábí především dráty a kabely. V potravinářském průmyslu je zastoupen hlavně v podobě tenkého obalového materiálu, který se nazývá alobal. V leteckém průmyslu se nejvíce používají slitiny na bázi Al-Li. [3]

1.2.1 Hliník a jeho slitiny z hlediska obrábění

O slitinách hliníku lze obecně říci, že v porovnání s ostatními konstrukčními kovovými materiály patří mezi ty lépe obrobitelné. Například oproti oceli se stejnou pevností jsou řezné síly při obrábění slitin hliníku daleko menší. Obrobitelnost čistého hliníku je ve srovnání s jeho slitinami naopak dost špatná, proto se v praxi používají především jeho legury. Tento rozdíl, mezi obrobitelností čistého hliníku a jeho slitinami, je dán jeho strukturou a krystalickou mřížkou. Velmi dobrý vliv na obrobitelnost slitin hliníku má míra vzniku precipitátů, měkkých částic a stupeň deformačního zpevnění. Legováním se dá zlepšit nejen jeho obrobitelnost, ale samozřejmě i jiné technologické a mechanické vlastnosti.

Největší uplatnění obrábění hliníku a jeho slitin je v první řadě v automobilovém průmyslu. I když má hliník a jeho slitiny poměrně nízké mechanické vlastnosti, tak se při obrábění za sucha řadí mezi problematické materiály. To je dáno vysokou tepelnou vodivostí, nízkou teplotou tání a tendencí k adhezi na materiál břitu nástroje. Z důvodu této problematiky je třeba zajistit optimální podmínky pro obrábění, především volba vhodného řezného materiálu, tvaru a typu nástroje, a dále volba vyhovující procesní kapaliny. [4]

1.2.1.1 Tvorba nárůstku při obrábění slitin hliníku

Jako jeden z největších problémů se při obrábění hliníku a jeho slitin považuje nalepování tenké vrstvy obráběného materiálu na materiál nástroje. To je způsobeno zejména díky nízké teplotě tání, kvůli které má hliník a jeho slitiny problém s utvářením třísky a jejím následujícím odvodem. V průběhu řezného procesu se za vysokého tlaku a teploty na břitu nástroje neustále opakovaně vytváří a současně hned zaniká tzv. nárůstek. Nárůstek periodicky vzniká a zaniká s frekvencí od 10^2 až do 10^4 Hz a má velice nepříznivý vliv na celý proces obrábění. Rozpad této nestabilní navažené vrstvy materiálu způsobuje vylamování řezné části břitu nástroje, což má za následek změnu geometrie nástroje a nerovnoměrné odebrání materiálu, tím pádem i zhoršení jakosti povrchu obrobené plochy. Z odlomeného nárůstku odchází část materiálu s třískou a část materiálu dopadá na obrobenou plochu a opět snižuje kvalitu povrchu. [4]



Obr. 2 Utvořený nárůstek na břitu nástroje [22]

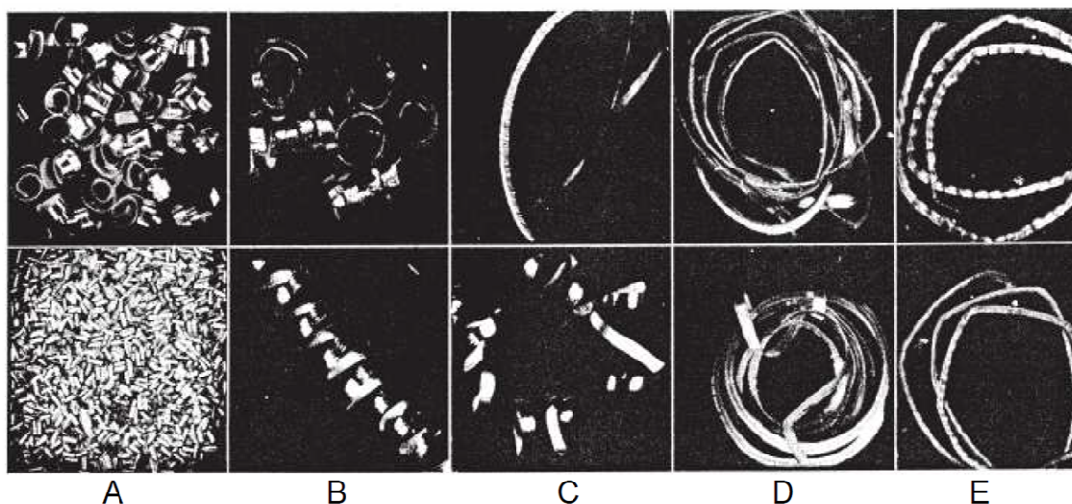
1.2.1.2 Obrábění slitin hliníku z pohledu volby řezného nástroje a jeho geometrie

Geometrie nástroje pro obrábění hliníku a jeho slitin musí splňovat určité požadavky pro odvod třísky. Důležitým parametrem je volba ostrého břitu s pozitivním úhlem čela, protože od jisté velikosti úhlu čela se nárůstek už netvoří. Menší pravděpodobnost vzniku nárůstku také zajišťuje vyšší ostrost hran břitu (menší poloměr). Další možnost prevence proti tvorbě nárůstku může být povrchová úprava břitu nástroje např. mikroleštění – tím se snižuje schopnost adheze materiálu břitu, nebo speciálními ochrannými povlaky, které mají nízký koeficient tření. Také lze zamezit vzniku nárůstku volbou jiného řezného materiálu, než je obvyklý slinutý karbid. Nabízí se

řezná keramika, cermety, kubický nitrid bóru aj. Za použití těchto jmenovaných řezných materiálů se naskytá možnost nastavení vysoké řezné rychlosti, což zcela zabrání utváření nárůstku. Nevýhodou je pouze jejich poměrně velká křehkost. [4]

1.2.1.3 Obrábění slitin hliníku z pohledu tvaru třísky

Při hodnocení obrábění slitin hliníku je rovněž velmi důležitým parametrem tvar třísky. Tvary třísek se rozdělují do pěti základních skupin, které se značí A – E. Hodnocení tvaru třísky se provádí na pracovišti vizuální kontroly. V situaci, kdy se tvoří nepřerušované spojitě třísky, je potřeba aplikace utvářeče třísek, který zabraňuje namotávání dlouhé třísky na nástroj, současně zajišťuje odlamování třísky a tím redukuje její délku. Tyto dlouhé spojitě třísky vznikají zejména u nevytvrzovaných slitin hliníku. U vytvrzovaných slitin hliníku se tvoří třísky dlouhá stočená, je křehčí a tudíž dochází ke snadnému odlamování. [4]



- A . . . velmi krátká lámavá tříska, dobře obrobitelný materiál, vynikající jakost povrchu
- B . . . stočená nebo dělená tříska, dobrý až výborný povrch
- C . . . plynulá tříska, dobrá jakost povrchu
- D . . . plynulá tříska, vyhovující povrch
- E . . . špatná tříska, nutnost nastavení jiných řezných podmínek pro dosažení výhodnějšího tvaru třísky a lepší jakosti materiálu

Obr. 3 Rozdělení tvaru třísek typických pro obrábění slitin hliníku [4]

2 REŠERŠE LITERÁRNÍCH POZNATKŮ O VLIVU PROCESNÍCH KAPALIN NA FRÉZOVÁNÍ SLITIN HLINÍKU

Následující kapitola se bude zabývat literárními poznatky o mechanismu tvorby třísky a jejich kvalifikací, o procesních kapalinách, jejich vlastnostech a druzích. Dále kapitola obsahuje téma hodnocení jakosti povrchu z hlediska integrity.

2.1 Mechanismus tvorby třísky a její klasifikace

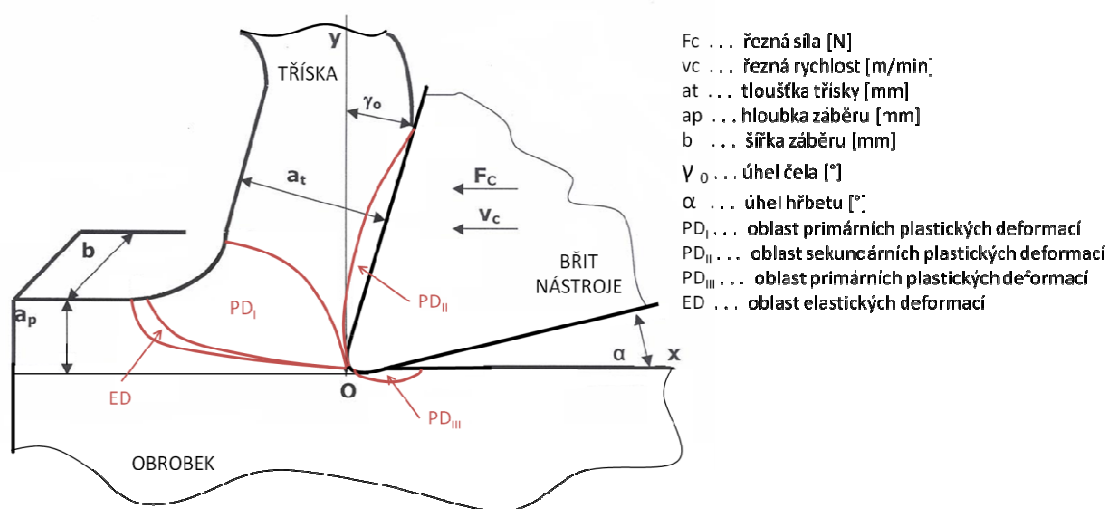
Utváření třísky je poměrně složitý proces, který je závislý na vlastnostech materiálu (mez pevnosti, houževnatost, atd.), na vlastnostech materiálu nástroje a jeho geometrii a stanovených procesních podmínkách (řezná rychlost, hloubka záběru, atd.).

2.1.1 Mechanismus tvorby třísky

Na mechanismus tvorby třísky můžeme nahlížet dvěma způsoby. Ten jednodušší způsob je založen na teorii TIME-TRESCA (teorie tvorby třísky v jedné střížné rovině). Spočívá ve vnikání nástroje ve tvaru klínu do obráběného materiálu, kde se nejprve objevují pružné deformace, současně do určité doby narůstá síla potřebná k proniknutí do materiálu, než napětí naroste do takové výše, že překročí mez pevnosti v kluzu (smyku). Tímto směrem poté nastane posunutí hmoty a následné odtržení elementu materiálu, vznikají plastické deformace. Dále síla potřebná pro vniknutí nástroje prudce klesne, nástroj se posune a tento celý proces se stále opakuje.

V současnosti nahlížíme na mechanismus tvorby třísky poněkud složitějším způsobem. Tato teorie vyplývá z experimentální metalografické studie, která říká, že ke tvorbě třísky nedochází v jedné střížné rovině, ale v určitých oblastech. Primární plastické deformace se objevují v oblasti kolem původně myšlené střížné roviny. V tomto místě dochází k transformaci dodané mechanické energie na teplo a je rozhodující z pohledu utváření třísky. V oblasti sekundárních deformací, kde se potkává materiál už přeměněný v třísku s čelem nástroje, účinkem vysokých teplot, tlaků a kovově čistých povrchů, se projevuje ještě dodatečné tváření třísky současně se zpevněním. Tím také dochází ke zvýšení schopnosti adheze mezi materiálem třísky a materiálem nástroje. Důsledkem toho se miniaturní části materiálu třísky „za studena“ navařují na břit nástroje, čímž ovlivňují jeho geometrii a tím pádem i jakost obrobeného

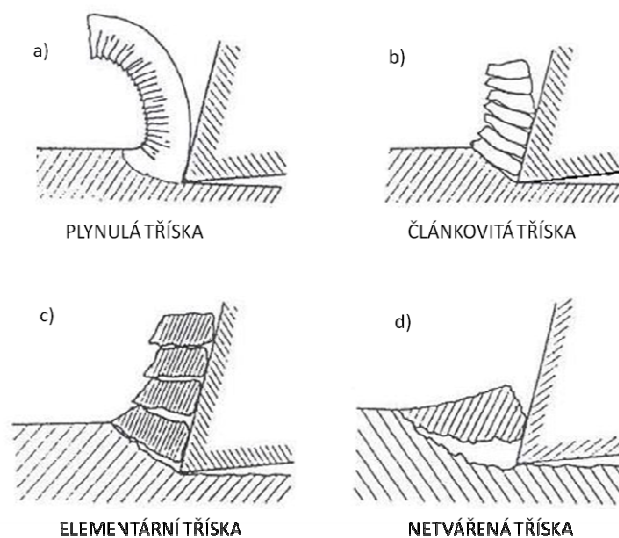
povrchu. Za oblast terciálních deformací se považuje styková plocha mezi hřbetem bříty nástroje a obrobenou plochou. To je dáno zaoblením bříty nástroj, který nemůže být nikdy dokonale ostrý. Vlivem toho se část obráběného materiálu stlačuje pod ostří nástroje a dochází k plastické deformaci. Následkem toho zůstávají v povrchové vrstvě zbytková napětí, která mohou být tlaková a tahová. Tlakové napětí je z pohledu kvality obrobeného povrchu výhodný doprovodný jev, který se projevuje ve formě zpevnění. Tahová napětí na obrobeném povrchu jsou naopak dosti nežádoucí, zhoršují vlastnosti obrobku z důvodu možnosti vzniku trhlinek. Sekundární a terciální plastické deformace se projevují v mnohem menším rozsahu než v primárních oblastech. [5], [6]



Obr. 4 Znáznornění oblastí plastických a elastických deformací [6]

2.1.2 Druhy třísek

Třísky můžeme rozdělit do dvou skupin na ty, které se plasticky deformují a na ty, které se nedeformují. Tvářené třísky vznikají, když působí převážně tečné (smykové) napětí, odstřižením (usmyknutím) materiálu obrobku. U vzniku netvářených třísek převládá normálové (tahové) napětí, kvůli čemuž se materiál obrobku odděluje křehkým lomem, aniž by se plasticky deformoval – odtržením, štěpením. Tvářené třísky se dále rozdělují na plynulé (Obr. 5a), článkovité (Obr. 5b) a elementární (Obr. 5c). Netvářené třísky (Obr. 5d) už nemají žádné další poddruhy. [7], [8], [9]

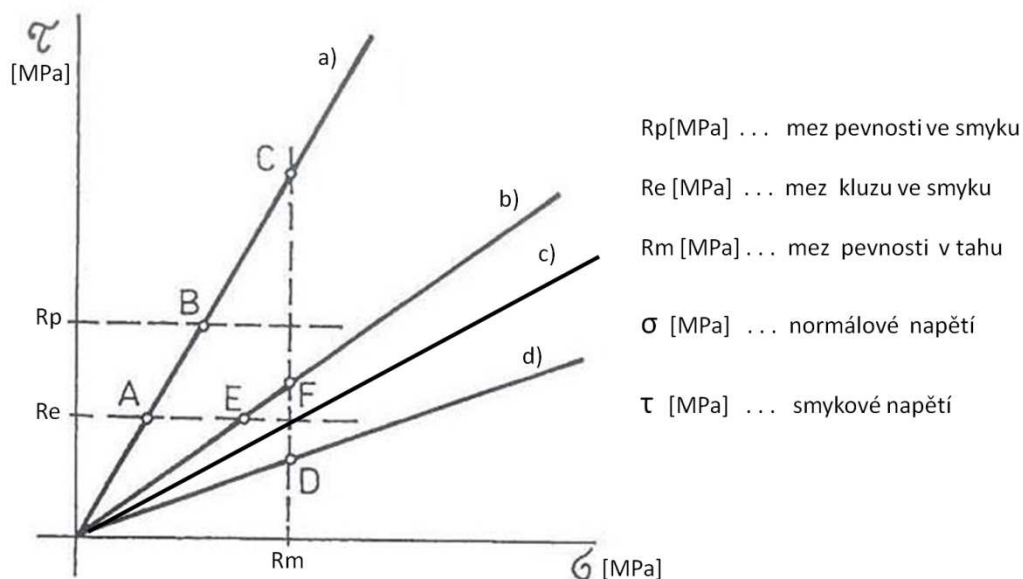


Obr. 5 Rozdělení druhů třísek dle tvaru [6]

Podstatu vzniku třísek a jejich druhy lze popsat v grafu závislosti tečných a normálových napětí (Obr. 6).

- a) **Plynulá tříška** (Obr.6a) na grafu odpovídá popisu přímce a). Při zatížení břitem řezného nástroje tečná i smyková napětí narůstají rovnoměrně a poměrně prudce. První plastické deformace se začínají objevovat po překročení meze kluzu ve smyku (Obr.6 bod A). Ty narůstají až na mez pevnosti ve smyku (Obr.5 bod B), kde dochází k porušení materiálu a začíná se oddělovat tříška. Definitivní oddělení třísky nastává dalším pohybem břitu nástroje materiálem až na hranici meze pevnosti v tahu (Obr.6 bod C). Tento druh třísky je typický pro houževnaté materiály, kde téměř nedochází ke zpevnění.
- b) **Člankovitá tříška** (Obr.6b) patří mezi částečně tvářené třísky. Vznikají mezi krajními polohami, kde se na grafu protínají jednotlivé meze pevnosti a kluzu. Stejně jako u plynulé třísky, zde postupně rostou napětí a při překročení meze kluzu ve smyku (Obr.6 bod E) se objevují plastické deformace, které jsou ale náhle přerušeny dosažením meze pevnosti v tahu (Obr.5 bod F) a tříška je tak odtržena z materiálu obrobku.
- c) **Elementární tříška** (Obr.6c) spolu s člankovitou patří mezi částečně tvářené třísky. Rozdíl mezi nimi je v míře dosažené plastické deformace. Tento tvar třísky je typický zejména pro křehké materiály.

d) **Netvářená tříska** (Obr.6d) vzniká překročením meze pevnosti v tahu (Obr.6 bod D), aniž by před tím dosáhla meze kluzu ve smyku, tzn. bez započetí jakékoli plastické deformace. Tím je element třísky vylomen ze základního materiálu obráběného povrchu. Netvářená tříska je obvyklá pro obrábění zvláště křehkých materiálů s velmi malou pevností v tahu např. šedých litin, litých bronzů. [6], [7], [8], [9]



Obr. 6 Závislost tečných a normálových napětí při vzniku třísky [6]

2.2 Procesní kapaliny

2.2.1 Řezné prostředí

Atmosféra v řezné zóně má podstatný vliv na výši kvality a nákladů řezného procesu. Volba řezného prostředí závisí na vlastnostech materiálu obrobku, materiálu břitu nástroje a zvolených řezných podmínkách. Zvoleným vhodným prostředím se dá významně ovlivnit celý průběh obrábění, např. trvanlivost břitu nástroje, ale hlavně co se týče funkčních vlastností obrobené plochy, jako zbytkové napětí v povrchové vrstvě a její zpevnění, drsnost obrobeného povrchu, atd. Nejvyužívanější procesní media jsou kapaliny, plyny, mlhy. Práce se dále bude zabývat už pouze procesními kapalinami. [6], [7], [8], [9]

2.2.2 Význam a funkce procesních kapalin

Úkolem procesních kapalin je zajistit řezné podmínky, které nejsou možné splnit při obrábění na sucho. Proces obrábění vyžaduje, aby jeho chod probíhal při co největší hospodárnosti. To znamená, při co nejmenší spotřebě energie, v důsledku komplexní stabilizace celého obráběcího procesu, při co nejvyšší jakosti obrobeného povrchu. Na to má největší vliv především chladicí a mazací účinek řezné kapaliny. Dále procesní kapalina zajišťuje snadnější tváření třísky a její následný odvod, ovlivňuje velikost minimální hloubky záběru, zabraňuje tvorbě nárůstku, zvyšuje trvanlivost břitu a tím i životnost řezného nástroje, celkově redukuje řezné síly, ovlivňuje průběh a velikost zbytkových napětí v povrchové vrstvě, ovlivňuje průběh a velikost dodatečného zpevnění povrchové vrstvy. Současně je požadováno po procesních kapalinách, aby byly nezávadné vůči životnímu prostředí a ekonomicky únosné, protože aplikace řezných kapalin je účinná pouze ve velkém množství, jinak ztrácí smysl. [6], [7], [8], [9]

2.2.3 Popis jednotlivých účinků procesních kapalin

2.2.3.1 Chladicí účinek

Teploty v řezném prostředí rostou s mnoha faktory, např. s rostoucí tloušťkou odřezávané vrstvy, se zvyšující se řeznou rychlostí, s houževnatým materiálem obrobku. Chladicím účinkem se rozumí schopnost procesních kapalin odvádět teplo z místa řezu. Odvod tepla se uskutečňuje proudem procesní kapaliny přímo na břit nástroje, obrobek a třísku, kde se část prudkým ohřátím ihned vypaří a část přijme vyvinuté teplo, odteče zpátky do sběrné nádrže a tam následně nasbírané teplo ztrácí.

Chladicí účinek procesních kapalin závisí na smáčecí schopnosti, na výparném teple, na rychlosti vypařování, na tepelné vodivosti, na měrném teple a jejich pěnivosti. Vypařování řezných kapalin je velice nežádoucí. Když dochází k vypařování, tak je nutné zajistit z hlediska bezpečnosti odvětrávání z pracovního prostředí a poté nechávat výpary zkondenzovat, aby byla kapalina dále využitelná. Proto hodnotíme chladicí účinek procesních kapalin především podle jejich tepelné vodivosti, měrného tepla a smáčecí schopnosti. [6], [7], [8], [9]

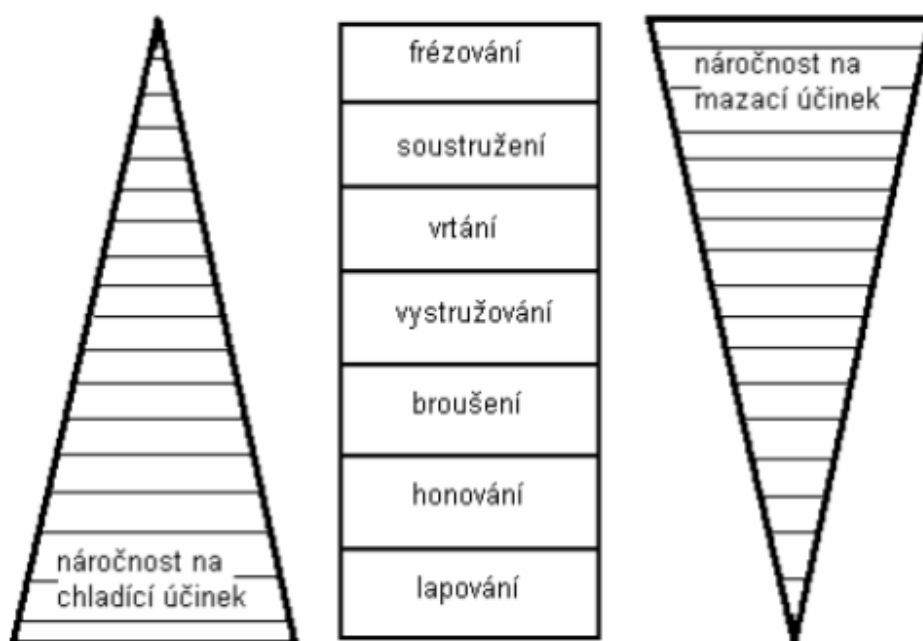
2.2.3.2 Mazací účinek

Mezi břitem nástroje, obrobkem a třískou dochází k obrovskému tření a následně k abrazivnímu opotřebení. Mazacím účinkem procesní kapaliny se rozumí schopnost

vytvořit na povrchu obráběného materiálu i nástroje tenkou ochrannou vrstvou, která zamezí přímému styku dvou kovových povrchů, redukuje tření jak mezi nástrojem a třískou, tak i mezi nástrojem a obrobkem, redukuje velikost řezných sil, snižuje spotřebu energie, zlepšuje odvod třísky, zvyšuje jakost obrobené plochy, snižuje energetickou spotřebu a tím stabilizuje chod stroje.

Důsledkem vysokých teplot a tlaků, které při pronikání břitem nástroje materiálem vznikají, nelze dosáhnout kapalného tření. Jestliže však má procesní kapalina silnou afinitu ke kovu nebo se váže s materiálem obrobku po chemické stránce, může vzniknout tzv. mezní tření v povrchové mezní vrstvě.

Mazací účinek procesní kapaliny závisí na její viskozitě a na pevnosti utvořené vrstvy. Procesní kapaliny s vyšší viskozitou se vykazují horší schopností pronikat mezi stykové plochy nástroje a obráběného materiálu, horším prouděním a také horším odvodem tepla. Se zvyšující se viskozitou zároveň roste míra ulpívání procesní kapaliny na třísky a tím dochází k podstatným ztrátám. Pevnost mazací vrstvy se dá ovlivnit přísadami povrchově aktivních látek, které podporují rovněž pronikání do trhlinek deformovaného materiálu, což usnadňuje průběh řezného procesu. [6], [7], [8], [9]



Obr. 7 Náročnost chladicího a mazacího účinku na jednotlivé technologie obrábění [8]

2.2.3.3 Čistící účinek

Při řezném procesu se stále utváří odpadní materiál ve formě třísek a jiných nežádoucích nečistot, které mohou ulpívat na povrchu nástroje nebo obrobku. Čistícím účinkem procesních kapalin se rozumí schopnost odplavovat právě tyto částčky třísky a jiné nežádoucí nečistoty z místa řezu.

Kvalita čištění záleží především na čistotě procesní kapaliny samotné. Proud kapaliny sice dopravuje nečistoty do zásobníku, kde se větší a těžší části usadí u dna, ale u menších částech odpadu se může stát, že je nasávaný proud strhne nadále s sebou zpátky do místa řezu, což může vést i ke zhoršení kvality obráběného povrchu.

Čistící účinek procesní kapaliny ovlivňuje především její viskozita. S rostoucí viskozitou se zvyšuje i pravděpodobnost ulpívání nežádoucích nečistot. Tím se procesní kapalina znehodnotí a nebude ji možné nadále používat.

Velký význam má čistící účinek zejména u technologie broušení, protože se vyplavují zanesené póry brusného kotouče a tím se celkově zlepšují jeho vlastnosti. Dále se uplatňuje vlastně při všech operacích, kde je nutný odvod třísky z místa řezu, např. při vrtání hlubokých děr nebo při řezání závitů. [6], [7], [8], [9]

2.2.3.4 Provozní stálost

Při obrábění dochází během oběhu procesní kapaliny k jejímu postupnému znehodnocování různými nečistotami, stárnutím apod. Provozní stálostí procesních kapalin se rozumí čas, po který je kapalina schopná si uchovat své vlastnosti a chemické složení na konstantní hladině. Poté musí být vyměněna za novou. Z tohoto hlediska se dá hodnotit provozní stálost řezné kapaliny. Čím déle vydrží provozuschopná, tím nižší náklady na ní jsou. Základním požadavkem provozní stálosti je stálost při uskladnění. Provozní stálost se dá pozitivně ovlivnit dostatečně velkými nádržemi, odstraňováním nežádoucích nečistot a usazenin, opatřením proti pění a pravidelná výměna obsahu v přiměřených časových intervalech.

Čas provozní stálosti závisí na teplotě, při které se vypařuje, odolnosti vůči mechanickému a chemickému napadení, typem kapaliny a její stálosti. U kapaliny olejových typů se stárnutí projevuje vznikem usazenin, kalem. Vlivem těchto usazenin se kapalina znehodnocuje a mění se její vlastnosti, zhoršuje se chladicí účinek, je náchylnější ke korozi, zvyšuje pěnivost kapaliny apod. U vodných typů procesních

kapalin se stárnutí projevuje rozkladem na složky. Protože kromě stárnoucí olejové složky je zde ještě vodní složka, kterou postupem času napadají hnilobné bakterie, což vede k rozkladu vody. Z důvodu postupné separace jednotlivých složek je kapalina čím dál více nehomogenní (nerovnoměrně rozložená) a nesoudržná. Následkem toho je zhoršení mazacího účinku, zvýšená náchylnost ke korozi, ztráta ochranných vlastností atd. [6], [7], [8], [9]

2.2.3.5 Ochranný účinek

Při obrábění i po něm většina materiálů na vzduchu podléhá korozi (rezivění). Ochranným účinkem procesních kapalin se rozumí ochrana především obrobku, ale také nástroje i stroje před vznikem koroze. Tato ochrana je důležitá hlavně v situacích, kdy je obrobek transportován mezi jednotlivými operacemi na jiné pracoviště. Bez přítomnosti ochranné antikorozní vrstvy by musel být obrobek zakonzervován, aby nekorodoval při manipulaci. Pokud procesní kapalině tato vlastnost schází nebo je nedostačující, jsou do ní přidávány přísady s antikorozními účinky. Dále je požadováno, aby procesní kapaliny nenapadaly obráběné materiály (např. neželezné kovy), nerozpouštěly nátěry obráběcích strojů a nebyly agresivní vůči gumovým a ostatním těsněním. [6], [7], [8], [9]

2.2.3.6 Zdravotní nezávadnost

Při práci na obráběcích strojích nelze zařídit, aby procesní kapalina nepřišla do styku s obsluhou. Pracovníci musejí vykonávat pravidelnou údržbu (např. odstraňování třísek a čištění stroje), při níž se procesní kapalina dostane občas do kontaktu s pokožkou. Za provozu se navíc řezná kapalina rozprašuje a vypařuje do ovzduší a tak pronikne téměř všude, na pokožku, tak i do dýchacích cest. Z uvedených důvodů je nezbytnou vlastností procesních kapalin, aby nebyly zdraví škodlivé, resp. nesmí obsahovat látky, které by byly jedovaté nebo by dráždily sliznici či pokožku a nesmí zamořovat ovzduší nepříjemným zápachem.

Zdravotní nezávadnost závisí také na čistotě a provozní stálosti procesní kapaliny. Znečištěná, zestárlá nebo bakterie obsahující kapalina může také zavinit zdravotní potíže, které by se u čerstvé kapaliny neprojevili. Zároveň však musí být dodržována bezpečnost práce, protože i čerstvá zdravotně nezávadná řezná kapalina může nevhodným zacházením a nedostatečnou prevencí způsobit obtíže. Pracoviště musí být dobře odvětrávané s možností opláchnutí potřísněné pokožky od procesní kapaliny a

musí být vybaveno preventivními ochrannými pomůckami, jako jsou např. ochranné kryty, rukavice, brýle, aby se co nejvíce předcházelo kontaktu procesní kapaliny s pokožkou nebo oděvem obsluhy. [6], [7], [8], [9]

2.2.3.7 Přiměřené náklady

V případě obrábění s procesní kapalinou je nutné ji přivádět do místa řezu ve velkém množství, aby to mělo pozitivní vliv, jinak ztrácí smysl a proces je ekonomicky nevýhodný. Proto náklady závisí zejména na spotřebě řezné kapaliny.

Procesní kapalina se nedá posuzovat pouze podle její vlastní ceny, protože její účinky ovlivňují ekonomické parametry obrábění ve větším rozsahu, než je hodnota ceny procesní kapaliny samotné. Volbou vhodného procesního prostředí se dá významně ovlivnit hospodárnost, ale nejprve je nutné při hodnocení nákladů na řeznou kapalinu vzít v potaz vliv na celý proces obrábění, tzn. na trvanlivost břitu nástroje a jeho ostření, jakost obrobku a spotřeba energie. Až po tomto rozboru následuje hodnocení nákladů procesní kapaliny z hlediska její provozní stálosti, spotřeby a výměny. Důležité je samozřejmě zahrnout i náklady na likvidaci procesní kapaliny.

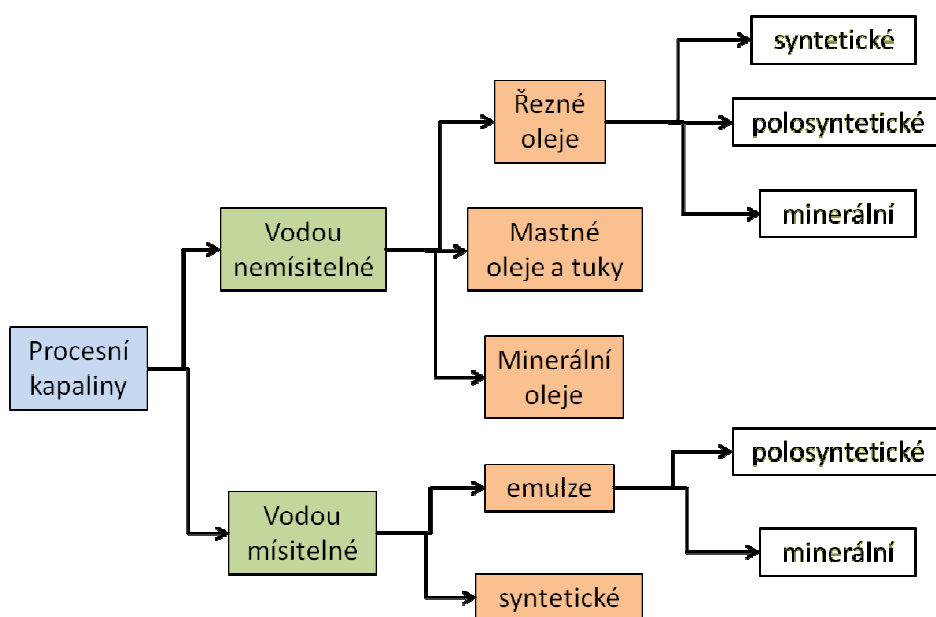
V provozu bývá základní chybou stanovení jednoho řezného prostředí a to považovat za vhodné pro všechny operace. Pro každou technologii nebo operaci je nutné řešit volbu procesní kapaliny zvlášť. To platí samozřejmě i o její koncentraci a způsobu přívodu řezné kapaliny. [6], [7], [8], [9]

2.2.4 Druhy procesních kapalin

Procesní kapaliny se dají rozdělit do dvou skupin podle toho, jestli u nich převažuje chladicí nebo mazací účinek. Procesní kapaliny s převažujícím chladícím účinkem se nazývají chladicí kapaliny a procesní kapaliny s převažujícím mazacím účinkem se nazývají řezné oleje.

Toto rozdělení však dostatečně nevystihuje škálu všech procesních kapalin, které jsou v dnešní době na trhu dostupné. V současnosti totiž stále stoupá snaha zvyšovat mazací účinky i u procesních kapalin, u kterých převažují chladicí účinky. U moderních kapalin jsou už chladicí a mazací účinky téměř stejné. Tento rozdíl bývá natolik zanedbatelný, že toto rozdělení již nemá takovou váhu. [6], [7], [8], [9]

Další z možností jak se dají rozčlenit procesní kapaliny je zobrazeno na Obr. 8.



Obr. 8 Rozdělení procesních kapalin

Obecně se dají rozdělit procesní kapaliny do následujících skupin:

- Vodné roztoky
- Emulzní kapaliny
- Řezné oleje
- Syntetické a polysyntetické kapaliny

2.2.4.1 Vodné roztoky

Základem vodných roztoků je voda, což z nich dělá nejjednodušší procesní kapaliny, ale zároveň jsou bohužel nevýhodné z hlediska jejich nutné dodatečné úpravy. Ve vodě se s jejím stárnutím utvářejí postupně bakterie, které mají za následek vznikání usazenin a kalu. Proto se u vodních roztoků provádí řada úprav, např. změkčování vody, přidávání přísad pro zvýšení smáčivosti, k zamezení koroze a ke snížení pěnivosti. Vodné roztoky musí být vždy zásadité (alkalické). Mají velmi dobré chladicí a mazací účinky. [6], [7], [8], [9]

2.2.4.2 Emulzní kapaliny

Emulzní kapalinu tvoří disperzní soustava dvou nerozpustných kapalin, z nichž jedna je rozptýlena v podobě mikroskopických kapiček v kapalině druhé. Jedná se

obvykle o směs oleje a vody. Dále obsahují přidané emulgátory, které zabraňují shlukování mikroskopických kapének, snižují mezipovrchové napětí a stabilizují homogenitu emulze. Bez přidaných emulgátorů by po určité době obě složky separovaly. Schopnost ochrany proti korozi závisí na hodnotě pH.

Emulzní kapaliny do jisté míry kombinují výhody mazacích olejů a vody, ale jejich koncentrace má velký vliv na chladicí účinek. Co se týče uplatnění, emulzní kapaliny zahrnují přibližně 80% na trhu používaných procesních kapalin. [6], [7], [8], [9]



Obr. 9 Chlazení emulzní kapalinou [10]

2.2.4.3 Řezné oleje

Řezné oleje se vyrábí ze zušlechtěných minerálních olejů, do kterých se přidávají určité přísady, které zvyšují mazací schopnosti a tlakovou únosnost.

Obecně mají minerální oleje, které používají jako základ řezných olejů, poměrně dobré provozní vlastnosti. Projevují se dobrým mazacím a ochranným účinkem, ale horším chladicím účinkem. Další pozitivní vlastností je dobrá odolnost proti stárnutí. [6], [7], [8], [9]

Přísady zlepšující vlastnosti řezných olejů se dají rozdělit do třech skupin:

- Mastné látky
- Organické sloučeniny
- Pevná maziva

2.2.4.3.1 Mastné látky

Mastné látky zahrnují zmýdelnitelné mastné oleje, mastné kapaliny nebo syntetické estery. Pozitivní vliv mají především na mazací schopnost a na přilnavost oleje ke kovu, ale to bohužel naplatí při extrémních tlacích. [6], [7], [8], [9]

2.2.4.3.2 Organické sloučeniny

Organické sloučeniny zahrnují určité prvky z periodické tabulky, jako je síra (S), chlór (Cl) a fosfor (P). Díky nim se na povrchu utváří vrstvička kovového mýdla, která usnadňuje klouzavý pohyb kovových stykových ploch a zabraňuje kovovým svarům, což celkově zlepšuje stabilitu za vysokých tlaků.

Sloučeniny s chlórem snižují míru tření, ale od teploty 400°C se jeho účinky zhoršují. Fosfor je proto nejúčinnější přísadou z těchto organických sloučenin, ale nejúčinnější se projevila kombinace všech tří sloučenin (síry, chlóru a fosforu) dohromady. [6], [7], [8], [9]

2.2.4.3.3 Pevná maziva

Mezi pevná maziva patří např. grafit, sirník molybdenu, aj. Tyto přísady se používají kvůli jejich mechanickému účinku, kterým působí na povrch. Mají silnou afinitu ke kovu a díky tomu jsou schopné vytvořit mezi vrstvou, která je odolná vůči tlakům s důsledkem zlepšení mazací schopnosti řezného oleje. Velkou nevýhodou je jejich nerozpustnost v kapalinách, kvůli které se musí stále udržovat v rozptýleném stavu, což může být velice obtížné a ekonomicky nevýhodné. [6], [7], [8], [9]

2.2.4.4 Syntetické a polosyntetické kapaliny

Syntetické kapaliny se vyznačují velmi dobrou provozní stálostí. Neobsahují minerální oleje, většina je rozpustná ve vodě a jsou založeny na bázi rozpouštědel - glykolů, které jsou průsvitné, což dovoluje sledovat průběh řezného procesu.

Oproti kapalinám založených na bázi olejů, je použití syntetických kapalin výhodnější po ekonomické stránce, navíc se projevuje rychlým odvodem tepla, mají dobré chladicí, mazací, čistící i ochranné účinky. Dále se projevují antikorozními vlastnostmi a jednoduchou přípravou.

Polosyntetické kapaliny vznikají rozptýlením oleje v kapalině syntetické řezné kapalině s důsledkem lepšího mazacího účinku. Ve srovnání s emulzními kapalinami jsou v polosyntetických řezných kapalinách mnohem menší částice oleje. [6], [7], [8], [9]



Obr. 10 chlazení syntetickou kapalinou [11]

2.2.5 Přívod procesní kapaliny do místa řezu

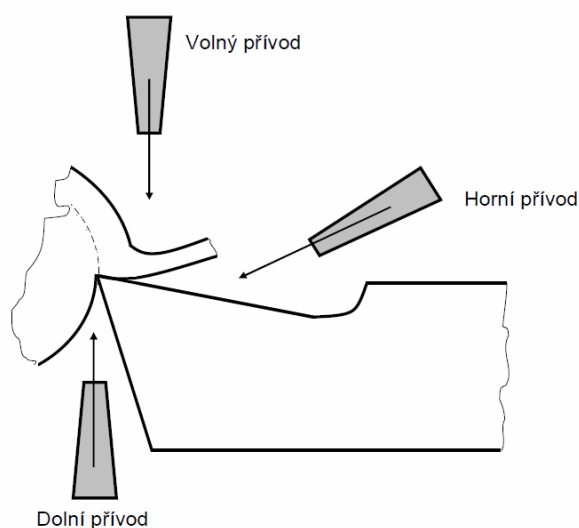
Způsobem, kterým je přiváděna procesní kapalina do místa řezu, se dá významně ovlivnit trvanlivost břitů nástroje a jakost obrobené plochy. Volba vhodného složení, množství a směru přívodu procesní kapaliny rovněž zlepšuje celý proces řezání.

V poslední době se objevuje stále víc a víc způsobů přívodu řezné kapaliny. Jedná se především o tlakové chlazení, chlazení mlhou, podchlazování procesní kapaliny, chlazení vzduchem, chlazení kysličníkem uhlíčitým, vnitřní chlazení, chlazení dvěma řeznými kapalinami při broušení atd. Hlavním cílem všech těchto metod je zvýšení chladicího a mazacího efektu procesní kapaliny.

Využití nových způsobů chlazení přináší možnost zvyšování výkonu obrábění a zlepšuje jeho hospodárnost. Z ekonomického hlediska je důležité vědět, že aplikace těchto nových metod by měla být využívána hlavně v situacích, kdy běžným způsobem přívodu procesní kapaliny nejsou dostatečně zajištěny procesní podmínky (především trvanlivost nástroje) nebo tam, kde se běžné metody chlazení nedají použít. Ve většině případů obrábění se uplatňuje přívod procesní kapaliny ze strany povrchu obrobku.

Touto metodou zasahuje řezná kapalina svým účinkem nejprve třísku a obrobek a až potom nástroj. Výhody jsou zejména v tom, že u tohoto způsobu nejsou potřeba žádné další úpravy, co se týče přírodního potrubí a stačí technika, která je dodávána výrobcem ke každému obráběcímu stroji. Toto zařízení zahrnuje nádrž s procesní kapalinou, čerpadlo a rozvodné potrubí. Množství dodávané kapaliny závisí na typu čerpadla a škrbení průtoku výstupním uzávěru. [6], [7], [8], [9], [11]

Poloha výstupu procesní kapaliny se upravuje podle vhodnosti k danému obrábění.



Obr. 11 Varianty přívodu procesní kapaliny do místa řezu [11]

Procení kapaliny, jako jeden z mnoha faktorů, mohou zásadně ovlivnit obrobenou plochu v komplexním rozsahu. To znamená, že kromě drsnosti povrchu, ovlivňují také mikrotvrdost povrchu, strukturní změny, zbytková napětí v povrchové vrstvě a míru zpevnění. Dá se tedy říci, že procesní kapaliny ovlivňují celou integritu povrchu.

2.3 Integrita povrchu

Integrita povrchu je vlastně souhrn složek, pomocí kterých můžeme popsat vlastnosti povrchové vrstvy. Tyto složky zahrnují řadu parametrů, které se dají změřit nebo jinak zaznamenat a následně podle nich hodnotit jakost obrobeného povrchu. Na základě takových analýz se určují vhodné technologie, řezné podmínky i procesní kapaliny. [12], [13]

2.3.1 Integrita povrchu a její význam z hlediska obrábění

Proces obrábění podléhá celé řadě požadavků, omezení a jiných podmínek, které by měl splňovat. K obrábění se používají různé technologie (s definovatelnou nebo nedefinovatelnou geometrií bříty), ale jedno mají společné, výsledkem je nově vytvořený obrobený povrch. Vlastnosti obrobených povrchů závisí na technologii, kterou byly vytvářeny, na řezných podmínkách, které byly stanoveny a řeznému prostředí při jejich utváření.

Znalost mechanismu vytváření nového obrobeného povrchu má zásadní význam na jeho výsledek, protože napomáhá pochopení vzniku a vlastností takto vytvořeného povrchu. Umožňuje tedy zlepšování jednotlivých použitých operací ke zdokonalení výroby.

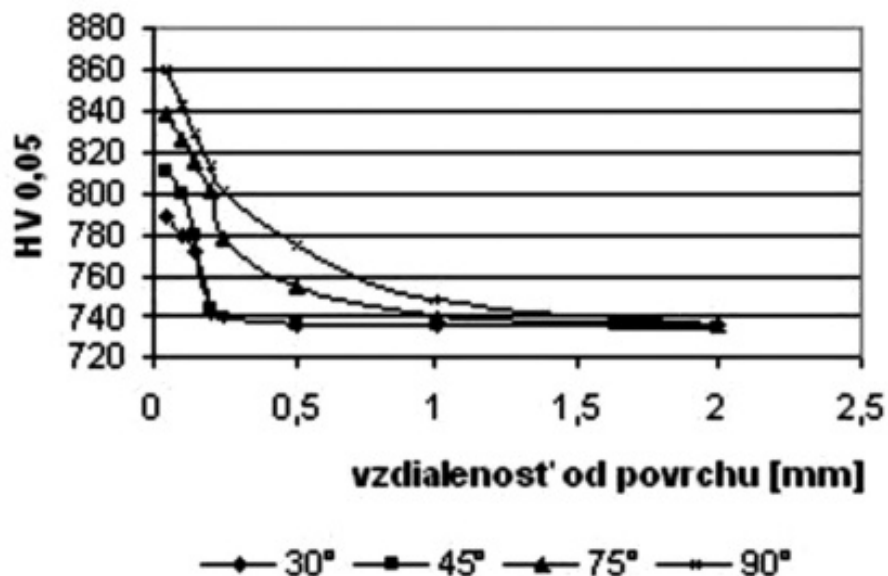
V povrchové vrstvě se dají pozorovat souvislosti mezi geometrickými vlastnostmi povrchu a vlastnostmi fyzikálními, jako jsou jakost obrobeného povrchu, zbytkové napětí, zpevnění, mikrotvrdost a fázové změny mikrostruktury materiálu. Zatím neexistuje způsob, kterým by šlo komplexně zhodnotit nově vytvořený obrobený povrch z pohledu integrity. Nejspolehlivější zkouška integrity je vlastní provoz vytváření nového povrchu. [12], [13]

2.3.2 Jednotlivé složky integrity

- Mikrotvrdost
- Zbytková napětí
- Fázové změny mikrostruktury
- Drsnost povrchu

2.3.2.1 Mikrotvrdost

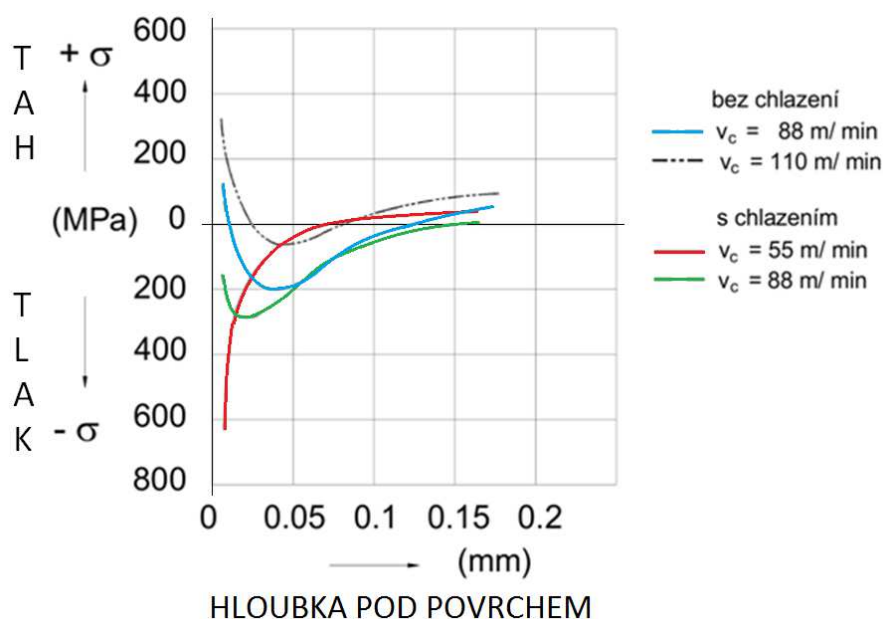
Zkoumáním se ukázalo, že nerovnoměrně rozložené napětí v oblasti primárních plastických deformací lze jen velmi obtížně rozpoznat. Jednou metodou, která je jako jedna z mála použitelná pro zhodnocení mikrotvrdosti, je její systematické měření právě v oblasti primárních plastických deformací a ve třísce. Podstata vyhodnocení je ve spojitosti mezi mikrotvrdostí plasticky deformovaného materiálu a jeho mezí tečení v mechanicky zpevněném stavu. Velký vliv na redukci růstu mikrotvrdosti má přívod procesního média, který snižuje vzniklé teplo. [12], [13]



Obr. 12 Ukázka průběhu mikrotvrdosti při různých úhlech čela břitů nástroje [14]

2.3.2.2 Zbytková napětí

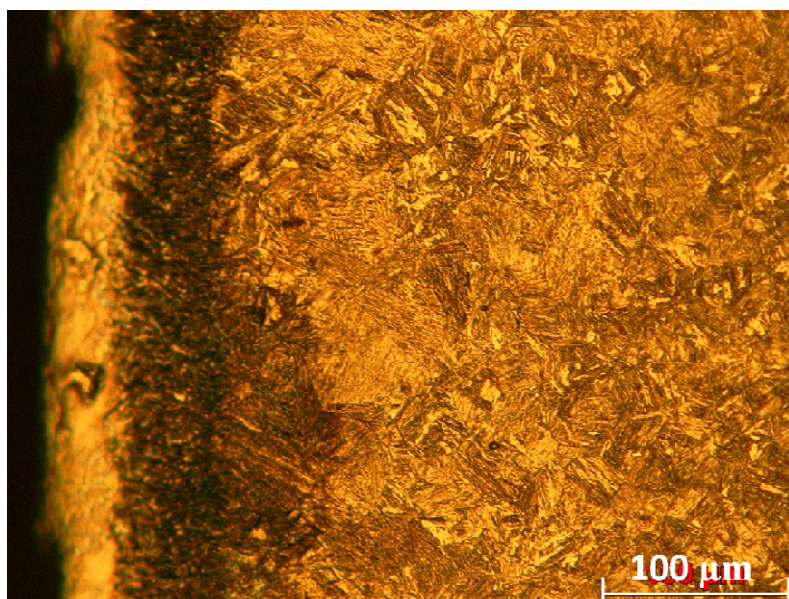
Velikost a smysl zbytkových napětí závisí na míře mechanického zatížení a množství vznikajícího tepla při obrábění. Pod nově vytvořeným povrchem se s přibývající hloubkou mění smysl zbytkového napětí, což má za následek vznik nerovnovážného stavu a pnutí. [12], [13]



Obr. 13 Příklad průběhu zbytkového napětí při frézování

2.3.2.3 Fázové změny mikrostruktury

Důsledkem velkého mechanického namáhání a náročných řezných podmínek dochází k vzniku značného tepla, které může vést až k fázovým změnám v mikrostruktuře materiálu povrchové vrstvy. Tyto strukturní změny jsou velice nežádoucí, protože následně negativně ovlivňují funkční vlastnosti materiálu nově vzniklého povrchu. Této nevýhodné změně struktury se můžeme vyhnout přívodem vhodného procesního média nebo změnou řezných podmínek. [12], [13]



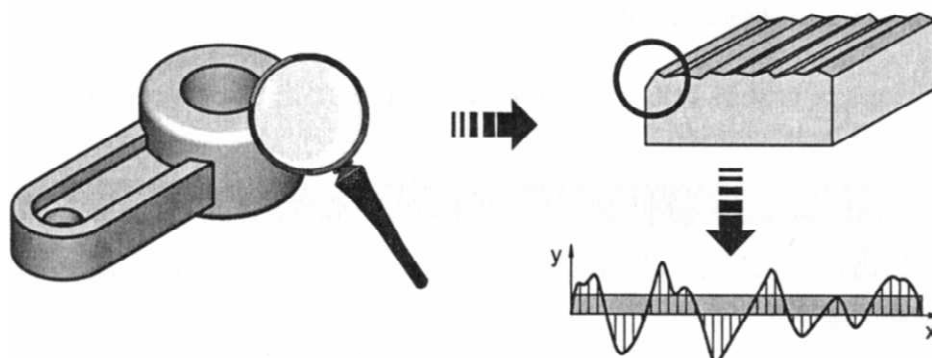
Obr. 14 Fázové změny v mikrostruktuře povrchové vrstvy [15]

2.4 Drsnost povrchu

Drsnost povrchu je významným parametrem integrity zejména pro dynamicky namáhané součásti, u kterých porušení vzniká obvykle od povrchu. Vyšší hodnoty drsnosti negativně působí na únavovou pevnost součásti na jejich odolnost vůči otěru.

Obrobená plocha nemůže být nikdy dokonale hladká. Ve všech případech vykazuje určitý stupeň drsnosti, který je dán mikronerovnostmi vzniklými při obrábění. Drsnost obrobeného povrchu je zapříčiněna stopami, které na ní zanechává břit nástroje při odřezávání materiálu. Typ a stupeň drsnosti zaleží na zvoleném způsobu obrábění, na fyzikálních a mechanických vlastnostech obráběného materiálu, na jakosti, na tvaru a geometrii břitu nástroje, na řezných podmínkách a především na řezné rychlosti a velikosti posuv. Drsnost povrchu může být také ovlivněna tuhostí soustavy stroj –

nástroj – obrobek, způsobem upnutí obrobku, volbou procesní kapaliny, opotřebením nástroje, třením třísky a nástroje o obrobený povrch, tvorbou nárůstku atd.



Obr. 15 Základní pohled na drsnost povrchu [16]

Drsnost povrchu obrobené plochy je zpravidla odlišná v podélném a v příčném směru. Podélný směr je rovnoběžný s řezným pohybem, příčný je kolmý na směr řezného pohybu. Podélná drsnost závisí především na obráběném materiálu, na způsobu vzniku třísky, velikosti deformace pod břitem nástroje, řezných podmínkách. Po hladkém obrábění je poměrně nízká. Při hladkém obrábění je tříska odebírána velkou řeznou rychlostí, při malém posuvu a hloubce záběru, a tím pádem nevznikají tak velké odpory a zároveň ani deformace. Příčná drsnost může být odvozena např. u obrábění jednobřitým nástrojem jeho tvarem a pohybem (posuvem) vůči obrobku. Velikost a tvar povrchu příčné drsnosti je určen hustotou, tvarem ale hlavně výslednou výškou rýh po břitě řezného nástroje. [19], [21]

2.4.1 Základní parametry drsnosti povrchu

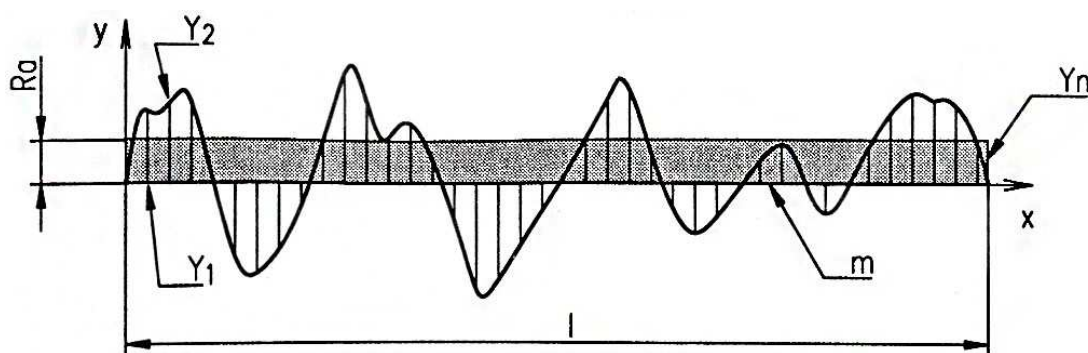
Podmínky drsnosti povrchu se vyjadřují jednotlivými parametry (veličinami) drsnosti povrchu, tzn. numerickou hodnotou patřičného parametru a základní délkou, na které se parametr určuje. Metody hodnocení drsnosti povrchu udává norma ČSN EN ISO 4287. [17], [20], [21]

Mezi základní parametry drsnosti povrchu patří:

- R_a . . . střední aritmetická úchylka profilu
- R_z . . . největší výška nerovností profilu
- R_p . . . největší výška výstupku profilu
- C_{TP} . . . nosný podíl

2.4.1.1 Střední aritmetická odchylka profilu R_a

Tento parametr je jedním z nejvíce používaných jako podmínka, charakterizující drsnost obrobeného povrchu. Je definována jako střední hodnota absolutních odchylek profilu v rozsahu základní měřené délky l . R_a by měla být vhodně používána s jinými dalšími parametry drsnosti povrchu, protože dostatečně neudává informace o povrchových nerovnostech. V situacích, kdy jsou u hladkých povrchů nerovnosti minimální nebo naopak u hrubých povrchů s extrémními výchyly nerovností, může být tento parametr velice nepřesný. Proto je nutné hodnotit drsnost obrobeného povrchu kombinací vhodných veličin, aby bylo hodnocení objektivní. Střední aritmetická odchylka profilu R_a je znázorněna na Obr. 13. [17], [20], [21]



Obr. 16 Střední aritmetická odchylka profilu R_a [16]

Integrální výpočet:

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx$$

Statistický výpočet:

$$R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i| = \frac{|y_1| + |y_2| + |y_3| + \dots + |y_n|}{n}$$

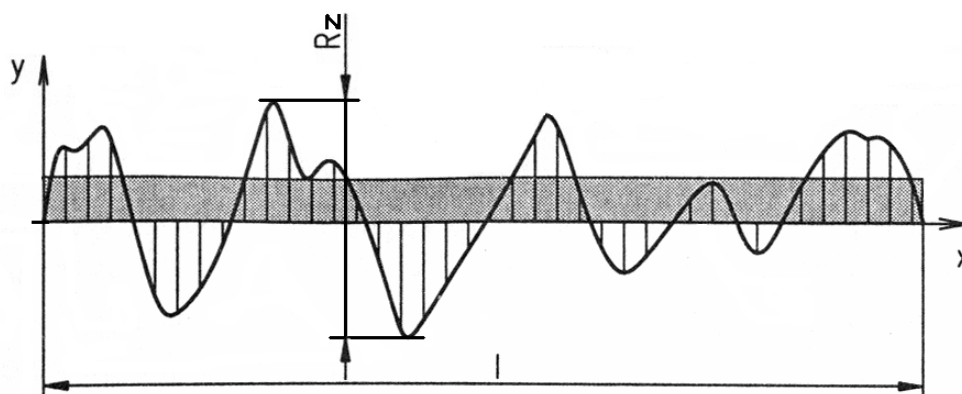
$y(x)$. . . funkce popisující profil povrchu

l . . . základní délka

n . . . počet vybraných bodů, profilu na základní délce

2.4.1.2 Největší výška nerovností profilu R_z

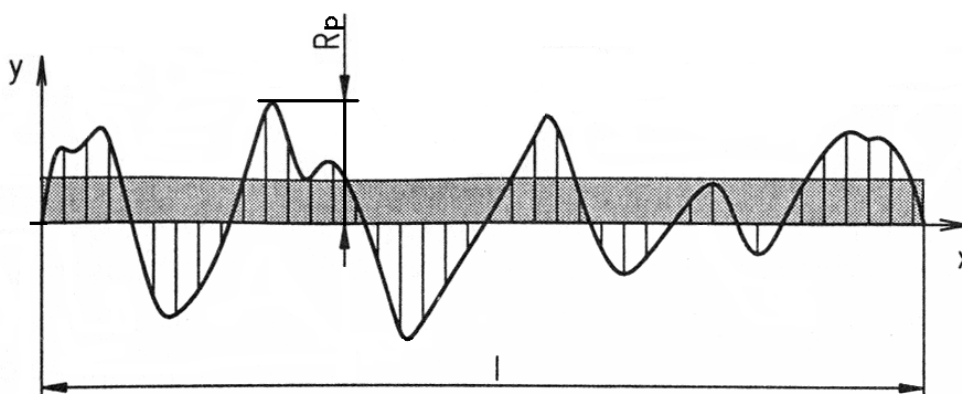
Výškový parametr drsnosti obrobeneho povrchu, která je definována jako vzdálenost mezi nejvyšším výstupkem a největší prohlubní profilu v rozsahu základní měřené délky l . Největší výška nerovností je znázorněna na Obr. 14. [17], [20], [21]



Obr. 17 Největší výška nerovností profilu R_z [16]

2.4.1.3 Největší výška výstupku profilu R_p

Největší výška výstupu je rovněž zahrnována mezi základní parametry drsnosti povrchu. Je to výška největšího výstupku od střední čáry v rozsahu měřené délky l . Největší výška výstupku profilu R_p je znázorněna na Obr. 15. [17], [20], [21]

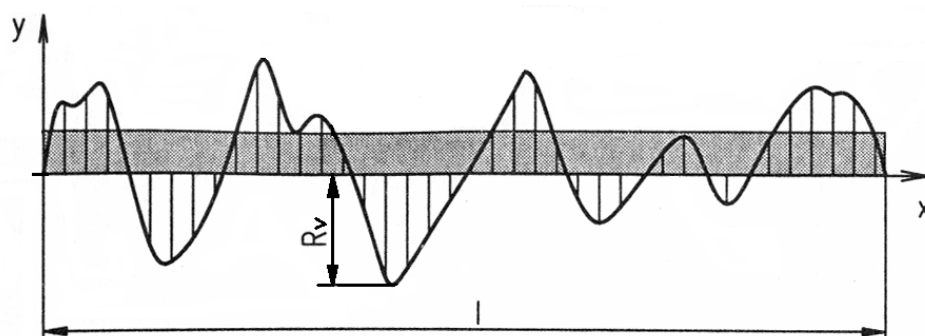


Obr. 18 Největší výška výstupku profilu R_p [16]

2.4.1.4 Největší výška prohlubně profilu R_v

Spolu s největší výškou výstupku profilu R_p dávají dohromady největší výšku nerovností profilu R_z . R_v Je tedy měřené místo s největší hloubkou prohlubně v rozsahu

měřené délky l . Největší výška prohlubně profilu R_v je znázorněna na Obr. 19. [17], [20], [21]

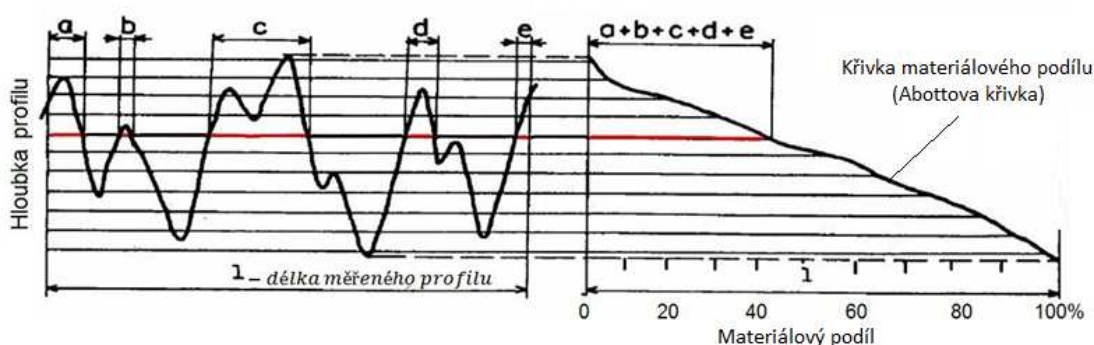


Obr. 19 Největší výška prohlubně profilu R_v [16]

2.4.1.5 Nosný podíl C_{TP} (R_{MR})

Výsledkem měření profilu je Abbotova křivka (křivka materiálového podílu). Vyjadřuje se graficky jako poměr materiálu a vzduchu v oblasti nerovností měřeného povrchu. Nebo se dá nosný podíl vyjádřit numericky pro určité hodnoty koncentrace (většinou pro 50% = C_{TP50}), což udává hloubku, ve které je podíl materiálu a vzduchu. Stanovení příslušného materiálového poměru profilu povrchu je významné zejména pro hodnocení míry odolnosti vůči opotřebení u dané součásti. [17], [20], [21]

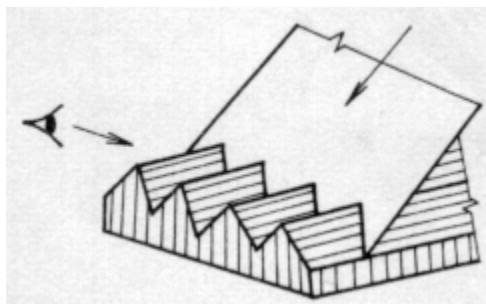
Křivka materiálového podílu je znázorněna na Obr. 20.



Obr. 20 Abbottova křivka (křivka materiálového podílu) [16]

2.4.2.3 Metoda světelného řezu

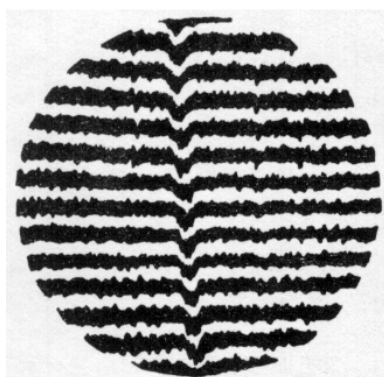
Podstatou této metody je užití zdroje světla a optického systému, který usměrňuje svícení na úzký rovinný svazek světelných paprsků. Tento svazek paprsků dopadá na povrch pod úhlem 45° . Průnikem této světelné roviny povrchem součásti vznikne obraz profilu šikmého řezu nerovností plochy. Pro tuto metodu se používají k vyhodnocení mikroskopy s mikrometrickými okuláry, které mají v okuláru nitkový kříž, jehož pomocí se lépe odečítají výsledky. [17]



Obr. 22 Princip metody světelného řezu měření drsnosti [17]

2.4.2.4 Interferenční metoda

Principem interferenční metody je opět zdroj světla, který se rozděluje v polopropustné rovině na dva dílčí paprsky. Jeden jde na povrch součásti a zpět, druhý na odrazné zrcadlo a zpět. Poté se oba paprsky opět spojují v dělicí rovině a míří do okuláru. [17]

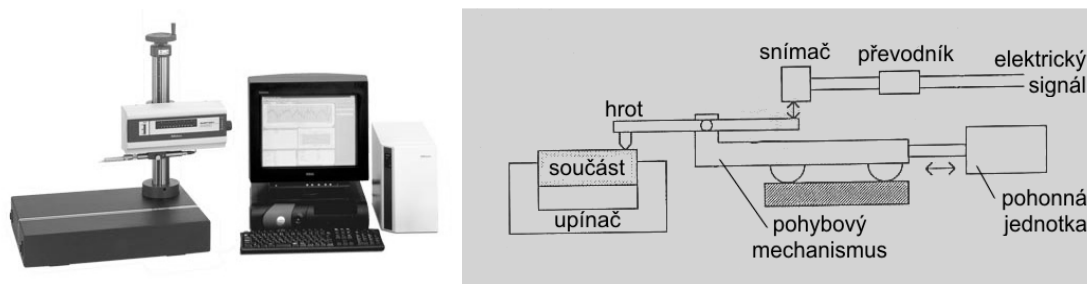


Obr. 23 Interferenční metoda měření drsnosti povrchu - pohled v okuláru [17]

2.4.2.5 Dotyková metoda

Dotyková metoda je doposud nejrozšířenější metodou měření drsnosti povrchu. Měření se provádí na dotykových profilometrech, které se skládají z dotykové a

elektronické části. Mechanická část snímá pomocí speciálního hrotu nerovnosti povrchu. Svislý pohyb hrotu je transformován převodníkem na elektronický signál, který je dále zpracováván do numerických hodnot parametrů struktury a tvaru, nebo do grafické podoby profilu. Naměřená data se zpracovávají buď přímo ve vyhodnocovací části profilometru, nebo na připojeném počítači s dodávaným softwarem. U dotykové metody může dojít k mechanickému poškození obrobeneho povrchu. To může způsobit hrot měřicího přístroje zvláště u měkkých materiálu. [17]



Obr. 24 Profilometr a jeho schéma [17]

3 NÁVRH METODIKY EXPERIMENTŮ PRO ZKOUMÁNÍ VLIVU PROCENÍCH KAPALIN NA PROCES FRÉZOVÁNÍ SLITIN HLINÍKU

3.1 Obráběný materiál

Dostali jsme za úkol frézovat slitinu hliníku AlCu4BiPb - ČSN 424254. Tato slitina se vykazuje střední pevností v tahu, která byla dosažena tepelným zpracováním. Dále se charakterizuje utvářením krátkých třísek při obrábění, takže je vhodná i pro práci na automatických obráběcích strojích, pro jemnou mechaniku, optiku, atd.

Chemické složení (podrobněji v příloze 1):

Cu = 3 – 5%; Mg = 0,4 – 1,5%; Mn = 0,3 – 1,5;

Si < 1%; Fe < 1%; Zn < 0,7; Ni < 0,3%

Každý legující prvek zlepšuje určité vlastnosti slitiny. Například měď (Cu) zvyšuje tvrdost a pevnost, ale má nepříznivý vliv na tvárnost a odolnost vůči korozi. Hořčík (Mg) zlepšuje schopnost vytvrzení, odolnost vůči korozi a pevnost. Mangan (Mn) zvyšuje tvárnost, pevnost, houževnatost a odolnost vůči korozi. Atd.

3.2 Stanovení řezných podmínek

Jako u každé technologie obrábění je důležitá volba vhodných řezných podmínek. Provozní podmínky se volily podle doporučení dodavatele břitové destičky. Z důvodu použití pouze jedné břitové destičky, se zvolila vyšší řezná rychlost, aby se zajistil stabilnější chod obrábění a předešlo se možným anomáliím ve struktuře obrobeného povrchu.

- | | | | | |
|------------------|-------|---|------|----------|
| • Řezná rychlost | v_c | = | 400 | [m/min] |
| • Hloubka záběru | a_p | = | 1 | [mm] |
| • Posuv na zub | f_z | = | 0,1 | [mm] |
| • Posuv za min. | f | = | 200 | [mm/min] |
| • Otáčky | n | = | 2000 | [ot/min] |

3.3 Metoda hodnocení kvality obrobeného povrchu

Účinek provozních kapalin na jakost obrobené plochy byl hodnocen na šesti vzorcích. Každý z těchto vzorků byl obráběn s jiným procesním médiem při stejných řezných podmínkách. Ke zhodnocení jakosti obrobeného povrchu byl zvolen profilometr Mytutoyo surfest propojený s vyhodnocovacím softwarem Surfpak v1.1 na osobním počítači v laboratořích FS KOM TUL. Parametry, kterými se posuzovala jakost povrchu při našem experimentu, jsou střední aritmetická odchylka profilu R_a , největší vzdálenost nerovností profilu R_z a nosný podíl C_{TP50} . R_a a R_z vyhodnocovací program měří přímo a zobrazí jejich numerické hodnoty, ale nosný podíl znázorní graficky pomocí Abbottovy křivky. Z této křivky materiálového podílu je možné odečíst v jaké hloubce od nejvyššího vrcholku je určitý poměr materiálu obrobku a vzduchu. Obvykle je tento materiálový podíl požíván při 50% což i v našem případě. Měření mělo být provedeno alespoň na dvanácti různých místech obrobeného povrchu každého vzorku, aby bylo zaručeno vyloučení možných náhodných odchylek. Naměřené hodnoty byly dále statisticky zpracovány do protokolu pro firmu PARAMO a.s. a znázorněny do grafů.

3.4 Metoda hodnocení druhu třísek

Současně, s měřením parametrů drsnosti, bylo cílem bakalářské porovnat vliv procesních kapalin na tvar třísky, který při frézování slitiny hliníku vzniká. Po každém frézování bylo odebráno přibližně stejné množství třísek, aby se dále mohli vyfotografovat a pečlivě porovnat s Obr. 21, na kterém jsou znázorněny druhy třísek dle normy ISO 3685, a přesně určit o jaký druh třísky se jedná. Získané fotografie a zjištěné výsledky jsme zapsali do formuláře pro firmu PARAMO a.s.

1. Stružkové *	2. Vinuté *	3. Spirálové *	4. Vlnité šroubovitě *	5. Kuželovité * šroubovitě	6. Obloukovité ♦	7. Elementární	8. Jehlovité
1.1. Dlouhé	2.1. Dlouhé	3.1. Ploché	4.1. Dlouhé	5.1. Dlouhé	6.1. Spojené		
1.2. Krátké	2.2. Krátké	3.2. Kuželovité	4.2. Krátké	5.2. Krátké	6.2. Dělené		
1.3. Smotané	2.3. Smotané		4.3. Smotané	5.3. Smotané			

Obr. 25 Druhy třísek dle normy ISO 3685

3.5 Popis použitých strojů, přístrojů a nástrojů

- Frézka FNG 32
- Frézovací hlava NAREX o Ø 63 mm
- Vyměnitelná břitová destička SNUN 120412; 8230
- Chladicí nádoba
- Profilometr Mitutoyo surfest SV– 2000
- Osobní počítač s programem Surpak
- Ruční refraktometr Brix 0-18% ATC

3.5.1 Nástrojařská frézka FNG 32

Frézování bylo uskutečněno na nástrojařské frézce FNG 32 od společnosti TOS Olomouc s.r.o, která je vybavena přístrojovou deskou s číslicovou indikací polohy pracovního stolu.

Tato frézka je technickým vybavením laboratoře Katedry obrábění a montáže Technické univerzity v Liberci. FNG 32 je schopná vykonávat operace, jako je frézování, vrtání, vyvrtávání řezání závitů.

Technické parametry stroje (podrobněji v příloze 2):

- | | | |
|----------------------------|-----------|----------|
| • Výkon hlavního motoru | 4,0 | [kW] |
| • Rozměr pracovní plochy | 800x400 | [mm] |
| • Maximální zatížení stolu | 350 | [kg] |
| • Rozsah otáček vřetena | 50 - 4000 | [ot/min] |
| • Pracovní zdvih | podélný | 600 [mm] |
| | příčný | 400 [mm] |
| | svislý | 400 [mm] |



Obr. 26 Nástrojařská frézka FNG 32

3.5.2 Frézovací hlava NAREX

Pro, způsob obrábění, který byl potřeba, což bylo čelní frézování, byla použita čelní rovinná frézovací hlava o průměru 63 mm s pěti sloty pro vyměnitelné břitové destičky. Tato frézovací hlavu byla vyrobena firmou NAREX.



Obr. 27 Frézovací hlava od firmy NAREX

3.5.3 Vyměnitelná břitová destička (VBD)

Pro technologii frézování hliníku a jeho slitin byla zvolena vyměnitelná břitová destička z vysoce univerzálního řezného materiálu, který je vhodný pro všechny druhy obráběných materiálů při střední řezné rychlosti. Na povrchu je nanesen tenký povlak

metodou PVD s vysokým obsahem hliníku. To má za následek kombinaci výhodných vlastností, jako je dobrá otěruvzdornost spolu s dobrou provozní stálostí.

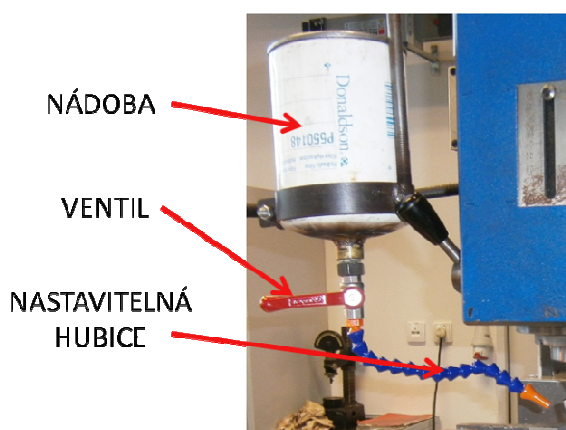
Naše zvolená břitová destička má základní tvar podoby čtverce, s úhlem břitu i čela 0°. Více informací v příloze 3.



Obr. 28 Vyměnitelná břitová destička SNUN 8230

3.5.4 Chladicí nádoba

Protože náš experiment byl, co se procesní kapaliny týče, dosti nenáročný, tak ani nebylo potřeba používat rozvodný systém, který je součástí nástrojařské frézky FNG 32, ale použili jsme jednodušší způsob v podobě menší nádoby připevněné nad vřetenem frézky. Tato nádoba je dále vybavena ventilem pro regulaci proudu řezné kapaliny a speciální nastavitelnou hubicí, která mířila přímo do místa řezu. Čerpadlo rovněž nebylo potřeba, protože o tlak proudu se nám postaralo samotné gravitační zrychlení.



Obr. 29 Nádoba na Procesní kapalinu

3.5.5 Profilometr Mitutoyo surfrest SV– 2000 N2

Pro naměření parametrů drsnosti povrchu a následné posouzení jakosti obrobené povrchu se zvolilo užití dotykové metody pomocí laboratorního dotykového profilometru Mitutoyo surfrest SV 2000 N2. K dotykovému přístroji je připojen osobní počítač, na kterém se vyhodnocení zpracovávalo pomocí softwaru Surfpak v1.1. Výstupy výsledků mají grafickou i textovou formu.



Obr. 30 Profilometr Mitutoyo surfrest SV 2000 N2 s připojeným osobním počítačem

3.5.6 Ruční refraktometr

Pro naměření přesné koncentrace oleje s vodou byl použit ruční refraktometr Optech Brix RLC/ATC K71901, jehož pomocí se snadno a rychle dojde ke spolehlivému určení koncentrace procesních kapalin. Tento ruční přístroj je schopen měřit koncentraci v rozsahu 0 – 18% Brix. Stupnice refraktometru je ve stupních Brix, které vyjadřují v procentech celkovou koncentraci všech látek rozpuštěných ve vodě.

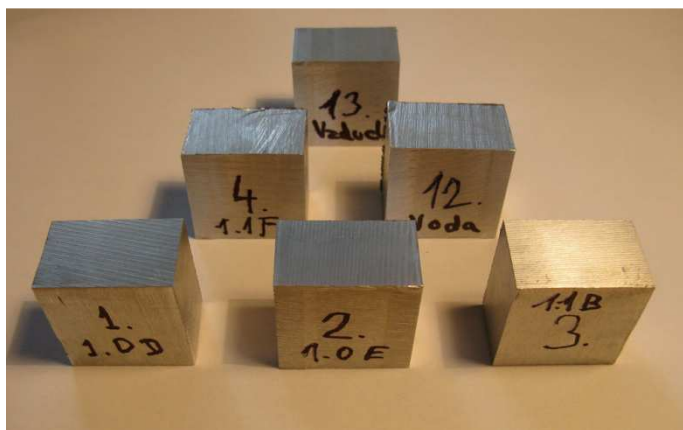


Obr. 31 Ruční refraktometr Optech Brix

4 REALIZACE EXPERIMENTU

4.1 Příprava zkušebních vzorků

V našem experimentu bylo dáno použít slitinu hliníku AlCu4BiPb – ČSN 424254. Z polotovaru bylo nařezáno šest vzorků ve tvaru kvádrů o rozměrech 30x30x20 mm, které se označili, a byly připraveny k frézování



Obr. 32 Nařezané a označené vzorky připravené k experimentu

4.2 Příprava procesní kapaliny

Úkolem výzkumu bylo použít vodou mísitelné procesní kapaliny, což znamená, že základem jejich přípravy je voda, která musí být kvalitní. U našeho experimentu byla použita běžná pitná voda z vodovodního řádu, která má neutrální hodnotu pH 7.

Procesní kapaliny se připravovali tak, že se nalil koncentrát do čisté PET láhve, postupně se za stálého míchání přidávala voda, přičemž všechny kapaliny měly mít koncentraci 5%. Aby se dosáhlo požadované koncentrace, je třeba průběžné aplikace ručního refraktometru. Je důležité mít na vědomí, že je potřeba do výpočtu hodnot na refraktometru zahrnout vliv korekčního (refrakčního) faktoru, který pro každou procení kapalinu uvádí dodavatel.

Po namíchání správné koncentrace provozní kapaliny se mohla nalít do chladicí nádrže a proces byl připraven. Ale protože pro náš experiment stačilo pouze mále množství procesní kapaliny, nepoužívali jsme proto chladicí systém, který je

integrováný v nástrojařské frézce, ale menší nádobu s ventilem a speciální hubicí, která vedla přímo do místa řezu.

$$r = \frac{c}{K}$$

fraktometru
koncentrace
or

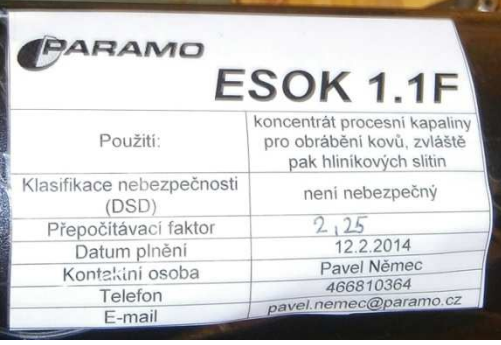
Příklad výpočtu:

Kapalina ESOK 1.1f

$$K = 3$$

$$C = 5\%$$

$$r = \frac{5\%}{2,25} = 2,22\%$$



PARAMO ESOK 1.1F	
Použití:	koncentrát procesní kapaliny pro obrábění kovů, zvláště pak hliníkových slitin
Klasifikace nebezpečnosti (DSD)	není nebezpečný
Přepočítávací faktor	2,25
Datum plnění	12.2.2014
Kontaktní osoba	Pavel Němec
Telefon	466810364
E-mail	pavel.nemec@paramo.cz

Obr. 33 Etiketa kanystru jedné z dodaných kapalin

Koeficienty všech kapalin:

- | | | |
|--------------------|----------|-----------|
| • PARAMO ESOK 1.0D | K = 3 | r = 1,67% |
| • PARAMO ESOK 1.0E | K = 3,1 | r = 1,61% |
| • PARAMO ESOK 1.1B | K = 2,1 | r = 2,38% |
| • PARAMO ESOK 1.1F | K = 2,25 | r = 2,22% |

4.3 Příprava nástrojařské frézky FNG 32

U přípravy frézky bylo důležité zkontrolovat, jestli je pracovní stůl a okolí frézovacího procesu vždy dobře uklizené a čisté, aby nedošlo k pomíchání odebíraných vzorků třísek při jednotlivých operacích, což by bylo vzhledem k požadavkům našeho experimentu nežádoucí. Dále stačilo pouze připevnit vyměnitelnou břitovou destičku SNUN 120412; 8230, protože nástroj (čelní frézovací hlava NAREX 2460.12 o průměru D = 63 mm) byl již připraven. Následně se pomocí úpinek upevnil svěrák do T-drážek v pracovním stole frézky. Pro jistotu se ještě vypláchnula chladicí nádoba a poté do ní byla nalita procesní kapalina.

4.4 Postup samotného obráběcího procesu a následného měření

Do svěráku byl vložen pod vzorek ještě kovový hranolek k zajištění vodorovné polohy a stejné výšky všechny vzorků, aby se zamezilo zbytečným změnám v nastavení hloubky záběru mezi frézováním jednotlivých vzorků. Poté byla nastavena na přístrojové desce rychlost posuvu, otáčky vřetene a mohla se zapnout frézku. Ručním posuvem jsme najeli břitem nástroje těsně před vzorek a pomocí číslicové indikace polohy jsme nastavili hloubku záběru. Je důležité vědět, že dráha řezu osy frézovacího nástroje by měla procházet přibližně středem obráběného vzorku.

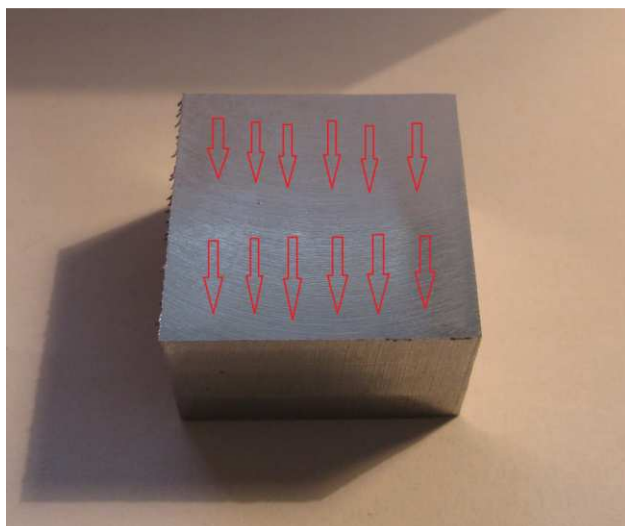
Samotné frézování probíhalo za stálého přívodu procesní kapaliny přímo na stykové plochy obrobku a břitu nástroje. První čtyři vzorky byly frézovány za použití provozních kapalin od firmy PARAMO a.s. U dalších dvou vzorků se pro srovnání použilo jako další procesní médium voda a vzduch (tedy na sucho).



Obr. 34 Frézování slitiny hliníku

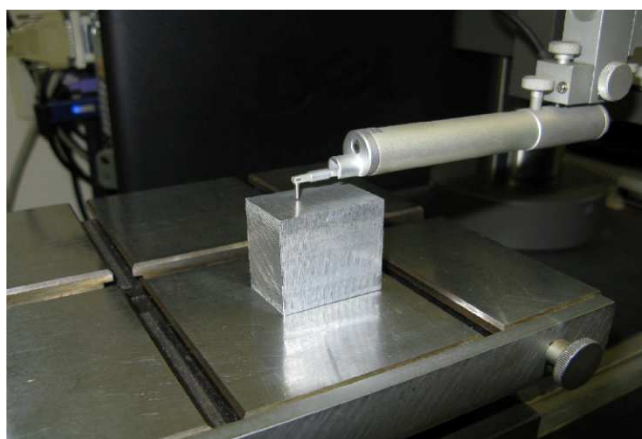
Po každém frézování bylo odebráno přibližně stejné množství třísek pro pozdější vizuální kontrolu a podrobnější prozkoumání.

Po dokončení bylo nutné nástrojařskou frézku a její okolí kompletně uklidit. Každý vzorek byl samostatně zabalen do papíru, aby se předešlo možnému poškození nově obrobeného povrchu, což by bylo velice nežádoucí vzhledem k objektivnímu měření. Vzorky se dále přenesly do laboratoře určené pro měření drsnosti vybavené profilometrem Mitutoyo Surftest SV 2000 N2, na kterém bylo měření parametrů drsnosti provedeno.



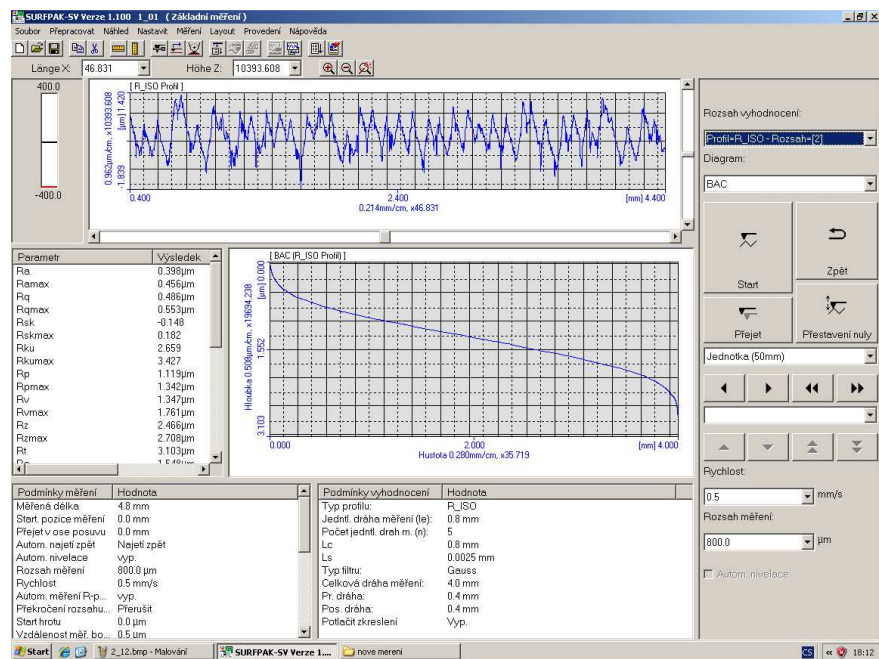
Obr. 35 Vzorek s vyznačenými místy měření drsnosti

Měření bylo provedeno na dvanácti různých místech každého vzorku, aby bylo možné vyloučit z řady naměřených hodnot extrémní výchyly a důsledkem toho docílit přesnějších statisticky vyhodnocených výsledků parametrů drsnosti povrchu.



Obr. 36 Detail diamantového hrotu při měření drsnosti povrchu

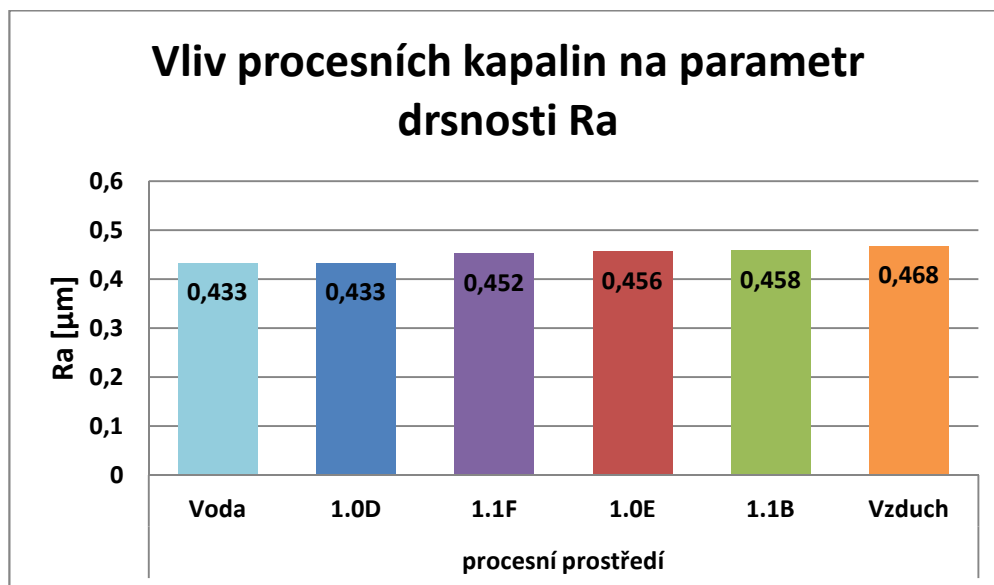
Při každém měření speciální diamantový hrot urazí vzdálenost 4,8 mm při rychlosti pohybu 0,5mm/s. Tato vzdálenost je určena základní délkou, ze které profilometr vyhodnocuje parametry drsnosti povrchu. Přesné numerické a grafické znázornění výsledků bylo vyhodnoceno programem Surfpack v1.1. Numerické hodnoty výsledků byly dále statisticky zpracovány do formuláře pro firmu PARAMO a.s.



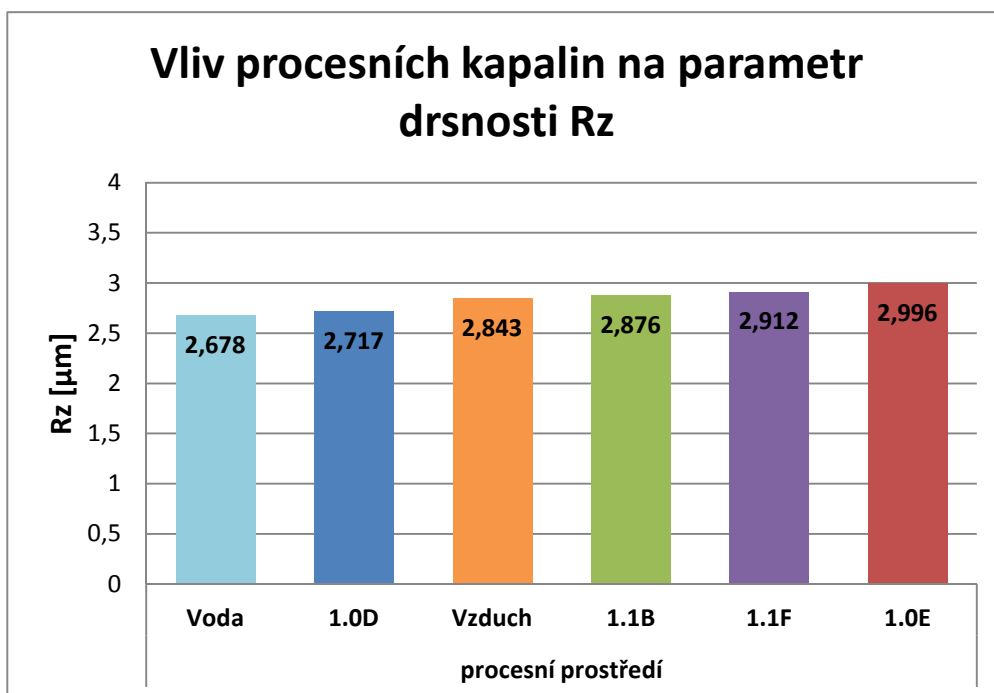
Obr. 37 Grafické a numerické vyhodnocení drsnosti programem Surfpak v1.1

5 HODNOCENÍ VLIVU RŮZNÝCH DRUHŮ PROCESNÍCH KAPALIN

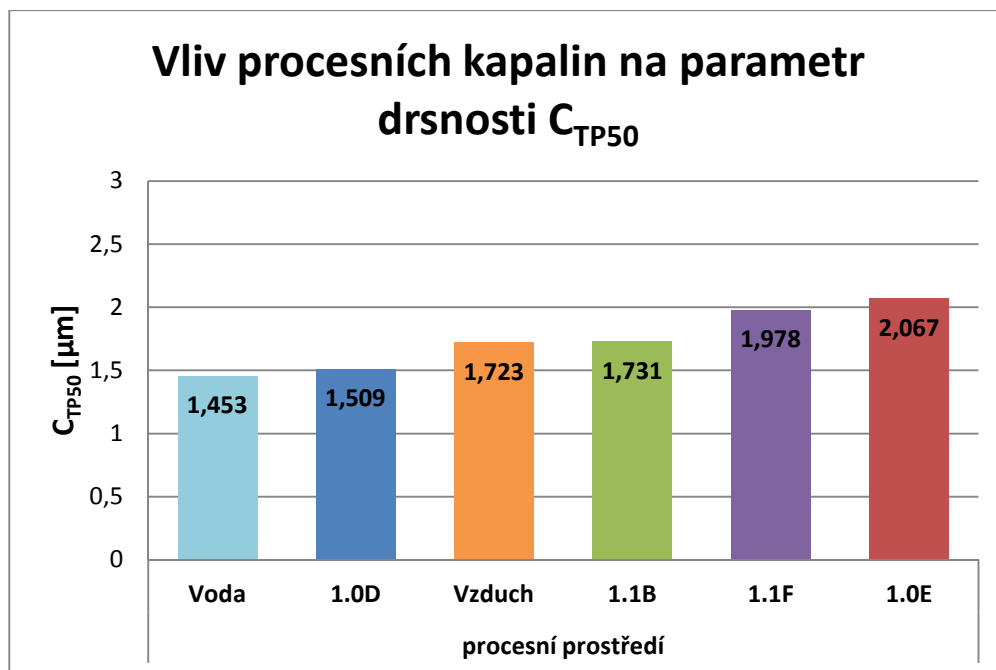
5.1 Hodnocení vlivu všech procesních médií na parametry drsnosti povrchu



Graf 1 Vliv procesních kapalin na parametr drsnosti Ra



Graf 2 Vliv procesních kapalin na parametr drsnosti Rz



Graf 3 Vliv procesních kapalin na nosný podíl C_{TP50}

Parametr drsnosti	Procesní prostředí					
	Voda	1.0D	Vzduch	1.1B	1.1F	1.0E
Ra [μm]	0,433	0,433	0,468	0,458	0,452	0,456
Rz [μm]	2,678	2,717	2,843	2,876	2,912	2,996
$C_{TP50} [\mu m]$	1,453	1,509	1,723	1,731	1,978	2,067

Tab. 1 Statistické výsledky jednotlivých parametrů drsnosti

5.1.1 Porovnání vlivu procesních médií oproti frézování na sucho

	Procesní prostředí					
	Vzduch	1.1B	1.0E	1.1F	1.0D	Voda
Ra [μm]	0,468	0,458	0,456	0,452	0,433	0,433
Zlepšení v [%]	-	2,1	2,6	3,4	7,5	7,5

Tab. 2 Průměrné hodnoty drsnosti povrchu Ra a procentuální zlepšení jakosti povrchu oproti frézování na sucho

	Procesní prostředí					
	1.0E	1.1F	1.1B	Vzduch	1.0D	Voda
Rz [μm]	2,996	2,912	2,876	2,843	2,717	2,678
Zlepšení v [%]	-5,4	-2,4	-1,2	-	4,4	5,8

Tab. 3 Průměrné hodnoty drsnosti povrchu Rz a procentuální zlepšení nebo zhoršení jakosti povrchu oproti frézování na sucho

	Procesní prostředí					
	1.0E	1.1F	1.1B	Vzduch	1.0D	Voda
C_{TP50} [μm]	2,067	1,978	1,731	1,723	1,509	1,453
Zlepšení v [%]	-20,0	-14,8	-0,5	-	12,4	15,7

Tab. 4 Průměrné hodnoty nosného podílu C_{TP50} a procentuální zlepšení nebo zhoršení jakosti povrchu oproti frézování na sucho

5.1.2 Porovnání vlivu procesních kapalin od firmy PARAMO a.s.

	Procesní kapaliny ESOK			
	1.1B	1.0E	1.1F	1.0D
Ra [μm]	0,458	0,456	0,452	0,433
Zlepšení v [%]	-	0,4	1,3	5,5

Tab. 5 Průměrné hodnoty drsnosti povrchu Ra a procentuální zlepšení jakosti povrchu u procesních kapalin ESOK

	Procesní kapaliny ESOK			
	1.0E	1.1F	1.1B	1.0D
Rz [μm]	2,996	2,912	2,876	2,717
Zlepšení v [%]	-	2,8	4,0	9,3

Tab. 6 Průměrné hodnoty drsnosti povrchu Rz a a procentuální zlepšení jakosti povrchu u procesních kapalin ESOK

	Procesní kapaliny ESOK			
	1.0E	1.1F	1.1B	1.0D
C_{TP50} [μm]	2,067	1,978	1,731	1,509
Zlepšení v [%]	-	4,3	16,3	27,0

Tab. 7 Průměrné hodnoty nosného podílu C_{TP50} a procentuální zlepšení jakosti povrchu u procesních kapalin ESOK

5.1.3 Detailní fotografie odebraných vzorků třísek



Obr. 38 Tříska za použití ESOK 1.0D



Obr. 39 Tříska za použití ESOK 1.0E



Obr. 40 Tříska za použití ESOK 1.1B



Obr. 41 Tříska za použití ESOK 1.1F



Obr. 42 Tříska za použití Vody



Obr. 43 Tříska při frézování na sucho

6 SHRnutí A ZHODNOCENí DOSAŽENýCH VýSLEDKŮ A VYVOZENí ZávěRů

Cílem mé bakalářské práce bylo navrhnout metodiku experimentu a jeho následnou realizaci pro analýzu vlivu procesních kapalin od firmy PARAMO a.s. (ESOK 1.0D, ESOK 1.0E, ESOK 1.1B, ESOK 1.1F) na jakost obrobeného povrchu při frézování slitiny hliníku AlCu4BiPb. Jakost obrobeného povrchu byla posuzována ze dvou hledisek. Prvním hlediskem byl vliv procesních kapalin na hodnoty parametrů drsnosti povrchu Ra, Rz a C_{TP50} . Druhým hlediskem byl vliv procesních kapalin na tvar utvářené třísky. Závěrem bylo vyhodnocení a porovnání dosažených výsledků experimentu a následné doporučení do praxe.

Z porovnání vlivu procesních médií na průměrné hodnoty parametru drsnosti povrchu Ra při frézování slitiny hliníku AlCu4BiPb vyplývá, že všechny procesní média mají přibližně stejné účinky na jakost obrobeného povrchu. Při použití všech procesních médií byl rozsah mezi nejvyšší a nejnižší hodnotou parametru drsnosti Ra 7,5%. Přičemž nejvyšší hodnoty drsnosti povrchu Ra byly naměřeny u frézování na sucho a nejnižšími hodnotami Ra a tudíž i mírným zlepšením se prokázalo užití vody a procesní kapaliny ESOK 1.0D. Vzhledem k použití pouze procesních kapalin ESOK od firmy PARAMO a.s. bylo rozmezí mezi nejvyšší a nejnižší hodnotou parametru drsnosti Ra 5,5%.

Z porovnání vlivu procesních prostředí na průměrné hodnoty parametru drsnosti povrchu Rz bylo zjištěno, že všechny média mají opět přibližně totožné účinky na jakost obrobeného povrchu. Při užití všech procesních médií byl rozsah mezi maximální a minimální hodnotou parametru drsnosti Rz 10,6%. Lepší jakost, než byla naměřena u frézování na sucho, vzhledem k parametru drsnosti povrchu Ra se ukázala pouze u použití vody (o 5,8%) a procesní kapaliny ESOK 1.0D (o 4,4%). Ve srovnání použití procesních kapalin od firmy PARAMO a.s. se rozmezí mezi maximální a minimální hodnotou parametru drsnosti Rz pohybovalo kolem 9%.

Z porovnání vlivu procesních médií na průměrné hodnoty nosného podílu CTP50 se ukázalo, že použitá média mají velice podobné účinky na jakost obrobeného povrchu bez zásadních rozdílů. Při použití všech prostředí byl rozsah maximálních a

minimálních hodnot nosného podílu C_{TP50} 30%. Ve srovnání s frézováním na sucho projevily mírné zlepšení jen voda (o 15,7%) a procesní kapalina ESOK 1.0D (o 12,4%). Z hlediska použití pouze procesních kapalin od firmy PARAMO a.s. bylo rozmezí mezi nejvyššími a nejnižšími hodnotami nosného podílu C_{TP50} 27%.

Z porovnání odebraných vzorků třísek vyplynulo, že za stanovených řezných podmínek procesní kapaliny od firmy PARAMO a.s. nemají žádný pozorovatelný vliv na tvorbu třísky při frézování slitiny hliníku AlCu4BiPb. Za použití všech procesních medií ESOK 1.0D, ESOK 1.0E, ESOK 1.1B, ESOK 1.1F, vody i vzduchu se utvářely třísky stejné délkou i tvarem. Po porovnání s normou ISO 3685, která se zabývá rozdělením druhů třísek, bylo zjištěno, se jedná o třísky obloukovité dělené.

Důsledkem zjištění, že procesní kapaliny od firmy PARAMO a.s. měli téměř totožné účinky na jednotlivé parametry drsnosti povrchu i utváření třísky při frézování slitiny hliníku. Doporučuje se proto používání kapaliny, která bude nejlepší z hlediska trvanlivosti nástroje.

Seznam použité literatury

- [1] VLACH, B. *Technologie obrábění a montáží*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1990. ISBN 80-03-00143-9.
- [2] Skripta VSB, Technologie II. Dostupné na:
http://homel.vsb.cz/~cep77/PDF/skripta_Technologie_II_2dil.pdf
- [3] *Hliník a jeho slitiny* (podklady pro výuku předmětu NAUKA O MATERIÁLU II). [online]. Liberec. TU v Liberci, katedra obrábění a montáže, březen 2005, [cit.30.dubna 2014]. Dostupné na:
www.kmt.tul.cz/edu/podklady.../HLINIK_a_jeho_slitiny_podklady.ppt
- [4] JELÍNEK, A. *Analýza podmínek obrábění hliníku a jeho slitin. [Bakalářská práce]*. [online]. Brno. VUT v Brně. 2009. Dostupné na
https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/14218/2009_BP_Jelinek_Adam_76493.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [5] JERSÁK, J. *Základní pojmy, podstata technologie obrábění* (podklady pro výuku předmětu TECHNOLOGIE III - OBRÁBĚNÍ). [online]. Liberec: Technická univerzita v Liberci, katedra obrábění a montáže, 2001. Dostupné na: http://www.kom.tul.cz/soubory/tob_pod.zip.
- [6] GAZDA, J. *Teorie obrábění. Průvodce tvorbou třísky*. 1. vyd. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2004. ISBN 80-7083-789-6
- [7] MOLNÁR, A. *Procesní kapaliny pro obrábění a způsoby jejich přívodu. [Bakalářská práce]*. [online] Brno. VUT v Brně. 2008. Dostupné na:
https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/5946/Bakalářská%20práce_Alexander%20Molnár.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [8] KARÁSEK, M. *Vliv procesních kapalin od nejlepších světových výrobců na trvanlivost nástroje a drsnost povrchu při vrtání nerezové oceli. [Diplomová práce]*. Liberec: TU v Liberci. 2013
- [9] BUMBÁLEK, B., OŠŤÁDAL, B. a ŠAFR, E. *Řezné kapaliny*. 1. vyd.. Praha: státní nakladatelství technické literatury, 1963
- [10] *Metal Cutting Technologies. Technologické možnosti* [online]. [cit. 30.4.2014]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/rubriky/technologicke-moznosti/page/2/>
- [11] NOVÁČEK, P., *Moderní chladicí kapaliny pro obrábění. [Bakalářská práce]*. Brno: VUT v Brně. 2012

- [12] BUMBÁLEK, B., *Integrita povrchu a jejich význam pro posouzení vhodnosti dané plochy pro její funkci*. 2005. Dostupné na:
http://gps.fme.vutbr.cz/STAH_INFO/2512_BUMBALEK.PDF
- [13] NOVÁK, M., HOLEŠOVSKÝ, F. *Studium integrity broušeného povrchu* [online]. Výrobné inžinierstvo, ISSN 1335-7972. Fakulta výrobných technológií Technickej univerzity v Košiciach so sídlom v Prešov. 2008/5. Dostupné na:
<http://web.tuke.sk/fvtpo/journal/pdf08/2-str-11-13.pdf>
- [14] Odborný časopis pro stavebnictví a strojírenství. [online]. 2008. Dostupné na: <http://www.konstrukce.cz/clanek/hodnotenie-opotrebenia-renovacnych-vrstiev-na-baze-tvrdonavarov/>
- [15] Oddělení povrchového inženýrství. [online]. Dostupné na: http://www.ateam.zcu.cz/download/Integrita_Urban1.pdf
- [16] ŠNUPÁREK, P., MAREK, M. (podklady pro výuku předmětu Technická dokumentace). Ostrava: VŠB-TU v Ostravě. [cit. 5. května 2014]. Dostupné na: http://fei1.vsb.cz/kat410/www453/soubory/texty/ucebni_texty/td/01-textyVSB/005_Drsnost%20povrchu.pdf
- [17] KARÁSEK, Jiří. *Metrologie a montáž (studijní podklady)* [online]. 2012 [cit. 5. Května 2014]. Dostupné z: http://www.kom.tul.cz/soubory/mm_pod.zip
- [18] Kovonástroje. [online]. [cit. 5. Května 2014]. Dostupné na: <http://www.kovonastroje.cz/Meridla/Merky-sablony-meritka-a-kruzitka/Vzorniky/Merky-drsnosti-povrchu-brouseni-celni-krizovy-vybrus-hoblovani-M-415.html>
- [19] Drsnost povrchu. [online]. [cit. 9. Května 2014]. Dostupné na: <http://www.tumlikovo.cz/drsnost-obrobeneho-povrchu>
- [20] Carl Zeiss spol. s r.o., [online]. [cit. 10. Května 2014]. dostupné na: [http://www.zeiss.cz/C12571AF002D4699/EmbedTitelIntern/Prospekt_Drsnost/\\$File/drsnost.pdf](http://www.zeiss.cz/C12571AF002D4699/EmbedTitelIntern/Prospekt_Drsnost/$File/drsnost.pdf)
- [21] ČSN EN ISO 4287 (01 4450). Geometrické požadavky na výrobky – Struktura povrchu: Profilová metoda – Termíny, definice a parametry struktury povrchu. Duben 1999. Praha. Český normalizační institut
- [22] Průmyslové spektrum. [online]. [cit. 3. Května 2014] <http://www.mmspektrum.com/clanek/prirucka-pro-technology-opotrebeni-se-nevyhneme.html>

- [23] TOS Olomouc s.r.o. *frézka FNG 32* [online]. Dostupné na: <http://www.tos-olomouc.cz/files/oc/produktove-informace/fng32.pdf>
- [24] E-nástroje. [online]. Dostupné na: <http://www.e-nastroje.cz/ZBOZI/1050081--PRAMET-Vymenitelna-britova-desticka-SNUN,-8230,--SNUN-150412/?region=CZ>

Seznam obrázků

Obr. 1 Druhy čelního frézování dle symetričnosti	14
Obr. 2 Utvořený nárůstek na břitu nástroje	16
Obr. 3 Rozdělení tvaru třísek typických pro obrábění slitin hliníku [4].....	17
Obr. 4 Znázornění oblastí plastických a elastických deformací [6]	19
Obr. 5 Rozdělení druhů třísek dle tvaru [6].....	20
Obr. 6 Závislost tečných a normálových napětí při vzniku třísky [6]	21
Obr. 7 Náročnost chladicího a mazacího účinku na jednotlivé technologie obrábění [8]...	23
Obr. 8 Rozdělení procesních kapalin.....	27
Obr. 9 Chlazení emulzní kapalinou [10]	28
Obr. 10 chlazení syntetickou kapalinou [11].....	30
Obr. 11 Varianty přívodu procesní kapaliny do místa řezu [11].....	31
Obr. 12 Ukázka průběhu mikrotvrdosti při různých úhlech čela břitu nástroje [14]	33
Obr. 13 Příklad průběhu zbytkového napětí při frézování	33
Obr. 14 Fázové změny v mikrostruktuře povrchové vrstvy [15]	34
Obr. 15 Základní pohled na drsnost povrchu [16].....	35
Obr. 16 Střední aritmetická úchylka profilu Ra [16].....	36
Obr. 17 Největší výška nerovností profilu Rz [16]	37
Obr. 18 Největší výška výstupku profilu Rp [16]	37
Obr. 19 Největší výška prohlubně profilu Rv [16].....	38
Obr. 20 Abbottova křivka (křivka materiálového podílu) [16]	38
Obr. 21 Ukázka válečkových a destičkových etalonů pro měření drsnosti povrchu [18]..	39
Obr. 22 Princip metody světelného řezu měření drsnosti [17].....	40
Obr. 23 Interferenční metoda měření drsnosti povrchu - pohled v okuláru [17].....	40
Obr. 24 Profilometr a jeho schéma [17]	41
Obr. 25 Druhy třísek dle normy ISO 3685	43
Obr. 26 Nástrojařská frézka FNG 32.....	45
Obr. 27 Frézovací hlava od firmy NAREX.....	45
Obr. 28 Vyměnitelná břitová destička SNUN 8230	46
Obr. 29 Nádoba na Procesní kapalinu	46
Obr. 30 Profilometr Mitutoyo surfrest SV 2000 N2 s připojeným osobním počítačem	47
Obr. 31 Ruční refraktometr Optech Brix.....	47
Obr. 32 Nařezané a označené vzorky připravené k experimentu	48

Obr. 33 Etiketa kanystru jedné z dodaných kapalin	49
Obr. 34 Frézování slitiny hliníku.....	50
Obr. 35 Vzorek s vyznačenými místy měření drsnosti.....	51
Obr. 36 Detail diamantového hrotu při měření drsnosti povrchu.....	51
Obr. 37 Grafické a numerické vyhodnocení drsnosti programem Surfpak v1.1	52
Obr. 38 Tříška za použití ESOK 1.0D.....	56
Obr. 39 Tříška za použití ESOK 1.0E	56
Obr. 40 Tříška za použití ESOK 1.1B	56
Obr. 41 Tříška za použití ESOK 1.1F	56
Obr. 42 Tříška za použití Vody	56
Obr. 43 Tříška při frézování na sucho	56

Seznam tabulek

Tab. 1 Statistické výsledky jednotlivých parametrů drsnosti.....	54
Tab. 2 Průměrné hodnoty drsnosti povrchu Ra a procentuální zlepšení jakosti povrchu oproti frézování na sucho.....	54
Tab. 3 Průměrné hodnoty drsnosti povrchu Rz a procentuální zlepšení nebo zhoršení jakosti povrchu oproti frézování na sucho	54
Tab. 4 Průměrné hodnoty nosného podílu C_{TP50} a procentuální zlepšení nebo zhoršení jakosti povrchu oproti frézování na sucho	55
Tab. 5 Průměrné hodnoty drsnosti povrchu Ra a procentuální zlepšení jakosti povrchu u procesních kapalin ESOK.....	55
Tab. 6 Průměrné hodnoty drsnosti povrchu Rz a a procentuální zlepšení jakosti povrchu u procesních kapalin ESOK.....	55
Tab. 7 Průměrné hodnoty nosného podílu C_{TP50} a procentuální zlepšení jakosti povrchu u procesních kapalin ESOK.....	55

Seznam grafů

Graf 1 Vliv procesních kapalin na parametr drsnosti R_a	53
Graf 2 Vliv procesních kapalin na parametr drsnosti R_z	53
Graf 3 Vliv procesních kapalin na nosný podíl C_{TP50}	54

Seznam příloh

Příloha č. 1	Materiálový list slitiny hliníku AlCu4BiPb
Příloha č. 2	Technické údaje nástrojařské frézky FNG 32
Příloha č. 3	Technické údaje a způsob značení VBD SNUN 8230
Příloha č.4	Protokol kontroly tvorby třísky pro firmu PARAMO a.s.
Příloha č. 5	Protokol měření drsnosti pro firmu PARAMO a.s.

Příloha č. 1

Materiálový list slitiny hliníku AlCu4BiPb

Hliník AlCu4BiPb - ČSN 424254

Chemické složení (hm. %)

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Ni	Ostatní	Al
min			3.00	0.30	0.40					Fe+Bi 0.50 - 1.50	zbyt
max	1.00	1.00	5.00	1.50	1.50		0.70		0.30	Sn+Cd 0.40	

Ekvivalentní materiály

Stát	Norma	Materiál	Číslo materiálu
EN	EN 573-3	AW-AlCu4PbMg	AW-2030
	EN 573-3	AW-AlCu4PbMgMn	AW-2007
	►		
IS	ISO 209-1	AlCu4PbMg	
	►		
US	ASTM Al.Ass.	2007	A92007
	ASTM Al.Ass.	2030	A92030
	►		
D	DIN 1725 T.1	AlCuMgPb	3.1645
	►		

Charakteristické vlastnosti a použití

Střední pevnost dosažená tepelným zpracováním slitiny s krátkou třískou, tedy vhodná pro zpracování na automatech. Pro jemnou mechaniku, optiku apod.


Příloha č. 2

Technické údaje nástrojařské frézky FNG 32 [23]

TECHNICKÉ ÚDAJE				FNG 32
STŮL				
Rozměr pracovní plochy	mm			800 x 400
Upínací drážky – počet				7
– šířka a rozteč	mm			14 x 50
Maximální zatížení stolu	kg			350
Pracovní zdvih – podélný (X)	mm			600
– příčný (Y)	mm			400
– svislý (Z)	mm			400
Posuvy – počet stupňů				plynule
– rozsah X, Y	mm/min.			15–1 000
– rozsah Z	mm/min.			6–400
Rychloposuv X, Y	mm/min.			2 000
Z	mm/min.			800
HORIZONTÁLNÍ VŘETENO				ISO40
Vzdálenost osy vřetene				
od plochy pevného stolu	mm			148–548
Rozsah otáček – plynule	ot/min			50–4 000
Počet rychlostních stupňů				2
Řazení otáček				plynulé
VERTIKÁLNÍ VŘETENO				ISO40
Vzdálenost osy vřetene od vedení stojanu	mm			250–650
Rozsah otáček – plynule	ot/min			50–4 000
Počet rychlostních stupňů				2
Řazení otáček				plynulé
Natočení vřetena				$\pm 90^\circ$
Výsuv pinoly	mm			80
Upínání nástroje				pneu-hydraulické
STROJ				
Výkon hlavního motoru	kW			4,0
Výkon posuvového motoru	kW			1,1
Čelkový příkon	kVA			22
Hmotnost	kg			2 500
Zastavěná plocha	mm			2 070 x 2 120
Výška	mm			2 115

Příloha č. 3

Technické údaje a způsob značení VBD SNUN 8230 [24]

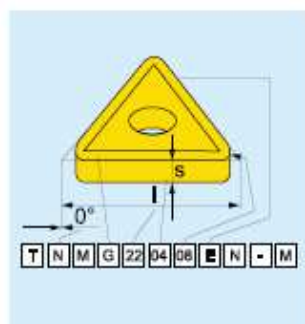
Označení materiálu a mikrostruktura Označenie materiálu a mikroštruktúra	Aplikační oblasti Aplikačné oblasti				Skupina obráběných materiálů Skupina obrábaných materiálův	Popis materiálu a doporučené užití Popis materiálu a doporučené použitie					
8230	10	20	30	40	P	M	K	N	S	H	
											<ul style="list-style-type: none">- vysoce univerzální řezný materiál- submikronový substrát typu H- nanostrukturní tenký povlak nanesený metodou PVD s vysokým obsahem Al- kombinuje dobrou oteruvzdornost spolu s dobrou provozní spolehlivostí- využitelný pro všechny skupiny obráběných materiálů- střední řezné rychlosti- i pro nestabilní záběrové podmínky
											<ul style="list-style-type: none">- vysoko univerzálny rezný materiál- submikronový substrát typu H- nanostrukturny tenký povlak nanesený metódou PVD s vysokým obsahom Al- kombinuje dobrou oteruvzdornosť spolu s dobrou reznou spoľahlivosťou- využiteľný pre všetky skupiny obrábaných materiálův- stredné rezné rýchlosti- i pre nestabilné záběrové podmienky

ISO - SYSTÉM ZNAČENÍ VYMĚNITELNÝCH BŘITOVÝCH DESTIČEK
ISO - SYSTÉM ZNAČENIA VYMENITELNÝCH REZNÝCH DOŠŤIEK

1 Tvar destičky / Tvar doštičky			
H	O	P	R
S	T	C	D
E	M	V	W
L	A	B	K

2 Úhel hřbetu / Úhol chrbta	
A	B
C	D
E	F
G	N
	Speciální Speciálny
P	O

4 Provedení / Prevedenie	
N	R
F	A
M	G
W	T
	Speciální Speciálny
Q	X



ISO kód

ANSI kód

1	2	3	4
T	N	U	N
T	N	M	G

1	2	3	4
T	N	U	N
T	N	M	G

3 Tolerance / Tolerancia						
Označení / Označenie	Tolerance / Tolerancia [mm]			Tolerance / Tolerancia [Polce]		
	m (±)	s (±)	d = L.C. (±)	m (±)	s (±)	d = L.C. (±)
A	0,005	0,025	0,025	0,0002	0,001	0,0010
F	0,005	0,025	0,013	0,0002	0,001	0,0005
C	0,013	0,025	0,025	0,0005	0,001	0,0010
H	0,013	0,025	0,013	0,0005	0,001	0,0005
E	0,025	0,025	0,025	0,0010	0,001	0,0010
G	0,025	0,130	0,025	0,0010	0,005	0,0010
J	0,005	0,025	0,05 ± 0,13	0,0002	0,001	0,002 ± 0,005
K	0,013	0,025	0,05 ± 0,13	0,0005	0,001	0,002 ± 0,005
L	0,025	0,025	0,05 ± 0,13	0,0010	0,001	0,002 ± 0,005
M	0,08 ± 0,18	0,130	0,05 ± 0,13	0,003 ± 0,007	0,005	0,002 ± 0,005
N	0,08 ± 0,18	0,025	0,05 ± 0,13	0,003 ± 0,007	0,001	0,002 ± 0,005
U	0,05 ± 0,38	0,130	0,08 ± 0,25	0,005 ± 0,015	0,005	0,003 ± 0,010



Příloha č. 4

Protokol kontroly tvorby třísky pro firmu PARAMO a.s.

Projekt TAČR - TA02021332

FS, TU v Liberci

Ekologické obrábění kapaliny nové generace

Třísky při obrábění

- procesní kapalina: **1.0D, 1.0E, 1.1B, 1.1F, voda, vzduch**

datum měření: 6.3.14

- obráběný materiál: **AlCu4BiPb - ČSN 424254**

měření provedl: Šimek

Komplexní fotografie vzniklé třísky

--	--	--	--	--	--	--

1.0D



1.0E



1.1B



1.1F



Voda



Vzduch



Podmínky měření

Měření bylo provedeno na pracovišti vizuální kontroly.

Zjištěné údaje o druhu odebrané třísky - tabulka

Způsob obrábění	
Procesní kapalina	Tvar vzniklé třísky
1	dělené
2	dělené
3	dělené
4	dělené
5	dělené

Způsob obrábění	
Procesní kapalina	Tvar vzniklé třísky
6	dělené
7	
8	
9	
10	

1. Stužkové *	2. Vinuté *	3. Spirálové *	4. Vlnité šroubovitě *	5. Kuželovité šroubovitě *	6. Obloukovité ♦	7. Elementární	8. Jehlovité
1.1. Dlouhé	2.1. Dlouhé	3.1. Ploché	4.1. Dlouhé	5.1. Dlouhé	6.1. Spojené		
1.2. Krátké	2.2. Krátké	3.2. Kuželovité	4.2. Krátké	5.2. Krátké	6.2. Dělené		
1.3. Smotané	2.3. Smotané		4.3. Smotané	5.3. Smotané			

Příloha č. 5

Protokol měření drsnosti pro firmu PARAMO a.s.

Projekt TAČR - TA02021332

FS, TU v Liberci

Ekologické obráběcí kapaliny nové generace

Měření drsnosti povrchu

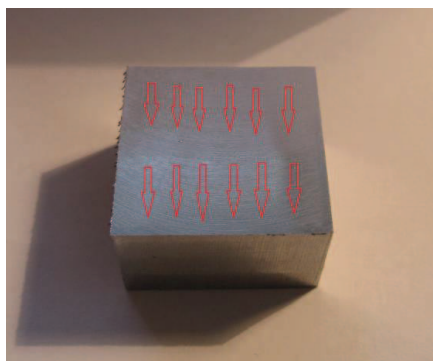
- procesní kapalina: **1.0D, 1.0E, 1.1B, 1.1F, Voda, Vzduch**

datum měření: 6.3.14

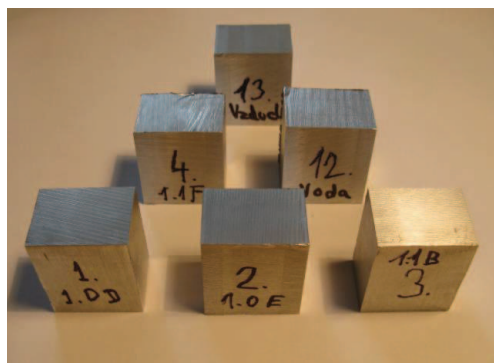
- obráběný materiál: **AlCu4BiPb - ČSN 424254**

měření provedl: Šimek

Místa měření



Fotografie vzorků



Podmínky měření

Měření bylo provedeno dotykovou metodou pomocí přístroje Mitutoyo Surftest SV-2000.

Použité příslušenství: dotek č. 12AAB404 - standardní dotek (rádius 5μm, vrcholový úhel 90°)

Naměřené hodnoty parametrů drsnosti povrchu - tabulka

1.0D	Číslo měření											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	průměr	(+,-)
Ra [μm]	0,40	0,44	0,45	0,41	0,39	0,38	0,48	0,43	0,44	0,50	0,43	0,03
Rz [μm]	2,47	2,73	2,82	2,46	2,51	2,56	2,87	2,62	2,82	3,31	2,72	0,20
C _{TP50} [μm]	1,29	1,44	1,55	1,28	1,19	1,19	2,32	1,35	1,77	1,71	1,51	0,26

1.0E	Číslo měření											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	průměr	(+,-)
Ra [μm]	0,41	0,44	0,47	0,49	0,48	0,51	0,48	0,44	0,41	0,44	0,46	0,03
Rz [μm]	2,61	2,87	2,90	3,25	3,01	3,19	3,51	3,17	2,80	2,66	3,00	0,21
C _{TP50} [μm]	1,88	1,71	1,87	2,31	1,66	1,99	3,34	2,28	2,02	1,61	2,07	0,38

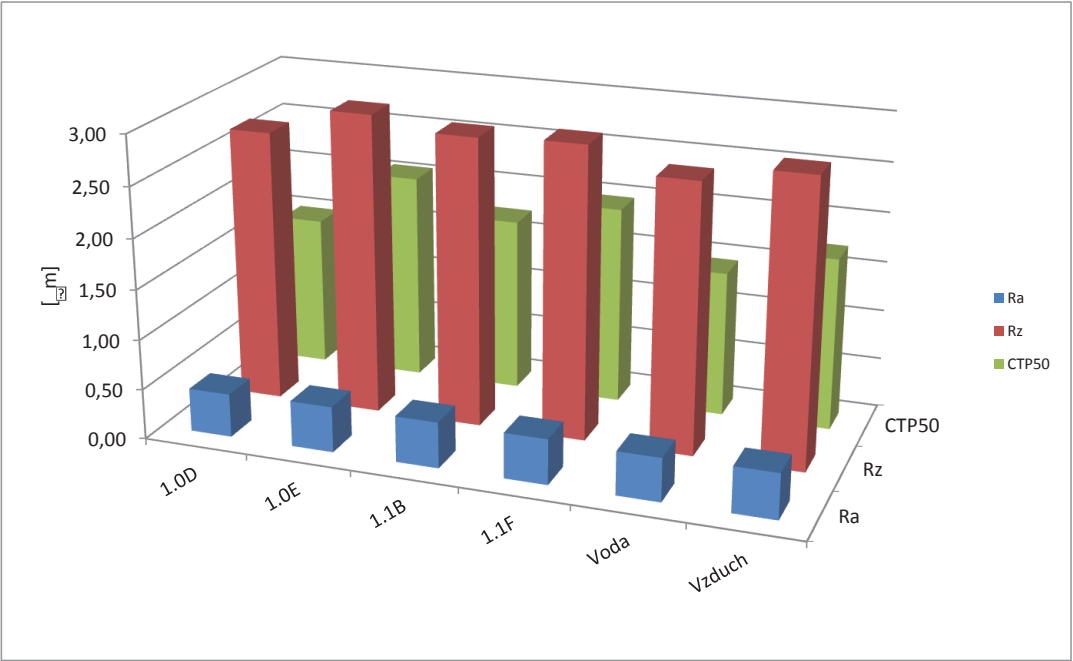
1.1B	Číslo měření											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	průměr	(+, -)
Ra [μm]	0,43	0,48	0,48	0,48	0,47	0,49	0,47	0,45	0,43	0,42	0,46	0,02
Rz [μm]	2,85	3,23	2,78	2,98	2,96	2,64	3,06	2,62	2,64	3,02	2,88	0,16
C _{TP50} [μm]	1,54	1,80	1,41	1,90	1,87	1,42	2,01	1,23	1,20	2,94	1,73	0,39

1.1F	Číslo měření											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	průměr	(+,-)
Ra [μm]	0,41	0,42	0,53	0,42	0,48	0,46	0,41	0,42	0,51	0,45	0,45	0,03
Rz [μm]	2,80	2,81	3,09	2,57	3,09	3,24	2,54	2,95	3,40	2,62	2,91	0,22
C _{TP50} [μm]	2,06	2,27	1,81	1,94	2,03	2,39	1,37	1,53	3,08	1,30	1,98	0,40

Voda	Číslo měření											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	průměr	(+,-)
Ra [μm]	0,39	0,43	0,43	0,43	0,45	0,47	0,45	0,39	0,42	0,48	0,43	0,02
Rz [μm]	2,35	2,62	2,70	2,80	2,49	2,88	2,66	2,64	2,87	2,79	2,68	0,13
C _{TP50} [μm]	1,55	1,34	1,53	1,22	1,33	1,47	1,30	1,21	1,83	1,74	1,45	0,16

Vzduch		Číslo měření										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	průměr (+,-)
Ra	[μm]	0,43	0,41	0,45	0,48	0,45	0,47	0,41	0,46	0,42	0,55	0,45
Rz	[μm]	2,51	2,48	2,92	3,47	2,82	2,66	2,63	3,19	2,78	2,98	2,84
CTP50	[μm]	1,63	1,23	1,98	1,69	1,75	1,99	1,79	1,92	1,59	1,66	1,72

Naměřené hodnoty - graf



Vzorové křivky materiálového podílu

